

Treball de Fi de Màster  
Enginyeria Industrial

Disseny d'un embolcall auto-refredant

MEMÒRIA

Autor: Fco. Javier Beltri Paga

Director/s: Jordi Bou

Convocatòria: Octubre 2016



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

En el present projecte es planteja des de un inici l'idea de crear un embolcall autorefredat mitjançant l'ajut d'un procés endotèrmic. Per aconseguir aquesta fita en primer lloc es procedeix a la recerca de diferents sals que produeixin un procés endotèrmic en ser dissoltes en aigua.

Aquestes diferents sals es busca que tinguin unes característiques determinades com que no siguin tòxiques pel cos humà i també que no contaminin el medi ambient, a més a més de que també tinguin una capacitat de produir processos endotèrmics de gran potència. Es fa referència a potència ja que es requereix d'una capacitat d'extracció d'energia alta i també d'una cinètica elevada.

Per la valoració experimental d'aquestes es requereix la creació d'un sensor per mesurar la temperatura en funció del temps i amb aquesta adquisició de dades posteriorment representar les diferents dissolucions amb un gràfic per poder ser comparades. Per la creació d'aquest sensor per part de l'autor s'ha recorregut a eines de treball com *Arduino* i també el suport per part del departament d'electrònica.

Amb tota la informació recollida s'ha establert que hi ha una mescla de dues salts que crea un major efecte mesclades de forma conjunta que soles amb la mateixa quantitat, aquest efecte serà estudiat i explicat adequadament, ja que és una de les claus d'aquest projecte.

Un cop trobada la mescla de sals idònia es procedeix a fabricar un prototip d'embolcall per tal d'assajar la llauna de 250ml, que és la que es tractarà sempre, i veure quins són els resultats de temperatura final a l'interior de la llauna. Després de realitzar diversos prototips amb diferents materials aïllants i també diferents plàstics servint-se de la fabricació amb impressora 3D, es passa a fabricar el model final també amb impressora 3D.

Aquest model final està basat amb tots els prototips fabricats i les diferents observacions realitzades d'aquests en les experimentacions realitzades, aquest disseny final serà reutilitzable i respectuós amb el medi ambient, ja que el plàstic amb que està fabricat és PLA.

## Índex Figures

<b>Figura. 1</b> Reacció Endotèrmica .....	22
<b>Figura. 2</b> Reacció Exotèrmica .....	23
<b>Figura. 3</b> Rombe de seguretat Nitrat d'amoni. ....	26
<b>Figura. 4</b> Rombe de seguretat. ....	26
<b>Figura. 5</b> Rombe de seguretat Urea. ....	28
<b>Figura. 6</b> Rombe de seguretat nitrat de potassi .....	30
<b>Figura. 7</b> Placa plana.....	33
<b>Figura. 8</b> Temperatura en funció del gruix L. ....	34
<b>Figura. 9</b> Variació de temperatura en un diferencial de gruix.....	35
<b>Figura. 10</b> Esquema d'un cilindre. ....	37
<b>Figura. 11</b> Gràfic temperatura cilindre en funció del radi .....	40
<b>Figura. 12</b> Secció del cilindre.....	40
<b>Figura. 13</b> Gràfic de temperatura en funció del radi en les diferents capes. ....	43
<b>Figura. 14</b> Cilindre amb convecció i conducció.....	45
<b>Figura. 15</b> Cicle termodinàmic esquemàtic Frigorífic .....	46
<b>Figura. 16</b> V-TEX Vortex. ....	48
<b>Figura. 17</b> V-TEX Vortex inside .....	49
<b>Figura. 18</b> AISBER 33 embolcall. ....	50
<b>Figura. 19</b> AISBER procés de refredament. ....	51
<b>Figura. 20</b> AISBER T (°C) vs t (min). ....	51
<b>Figura. 21</b> Vas de poliestirè expandit.....	52
<b>Figura. 22</b> Balança precisió 0,1g. ....	53



<b>Figura. 23</b> Cullereta .....	53
<b>Figura. 24</b> Proveta de $100\text{ml} \pm 1\text{ml}$ .....	54
<b>Figura. 25</b> Termòmetre $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .....	54
<b>Figura. 26</b> NTC33K (mm). ....	55
<b>Figura. 27</b> Llegenda de toleràncies d'una resistència .....	56
<b>Figura. 28</b> TLV2372 TOP VIEW. ....	56
<b>Figura. 29</b> Protoboard.....	57
<b>Figura. 30</b> Soldador JBC i estany .....	58
<b>Figura. 31</b> Termoretràctil .....	58
<b>Figura. 32</b> Arduino UNO. ....	59
<b>Figura. 33</b> Circuit electrònic. ....	60
<b>Figura. 34</b> Gràfic $V_o$ vs $V_1$ .....	62
<b>Figura. 35</b> Calibratge sensor.....	63
<b>Figura. 36</b> Gràfic $T(^{\circ}\text{C})$ vs $N^{\circ}\text{bits}$ .....	64
<b>Figura. 37</b> Codi per llegir la temperatura amb un sensor NTC33k .....	65
<b>Figura. 38</b> Assaig controlat de les diferents dissolucions .....	66
<b>Figura. 39</b> PC25-AD1-N500.....	67
<b>Figura. 40</b> PK25-AD1-N500.....	68
<b>Figura. 41</b> PU25-AD-N500.....	68
<b>Figura. 42</b> PC12,5;U12,5-AD1-N500. ....	70
<b>Figura. 43</b> PK12,5;U12,5-AD1-N500. ....	70
<b>Figura. 44</b> PK12,5;C12,5-AD1-N500. ....	71
<b>Figura. 45</b> Equació de Pitzer.....	73
<b>Figura. 46</b> Comparació teòrica e experimental del calor de dissolució. ....	74

<b>Figura. 47</b> Explicació de l'entalpia de dissolució gràficament. ....	75
<b>Figura. 48</b> Primer prototip d'embolcall complet. ....	76
<b>Figura. 49</b> Assemblatge primer prototip d'embolcall amb la llauna de 250ml. ....	77
<b>Figura. 50</b> Llauna de 250ml modelitzada amb 3D. ....	78
<b>Figura. 51</b> Resultat fabricació primer prototip de l'embolcall amb l'aïllant. ....	78
<b>Figura. 52</b> Resultat fabricació tapa primer prototip. ....	79
<b>Figura. 53</b> Segon prototip fabricat totalment de EPS. ....	80
<b>Figura. 54</b> Disseny definitiu assemblat amb la llauna aïllant i la corresponent tapa. ....	83
<b>Figura. 55</b> Plànol tapa disseny final. ....	84
<b>Figura. 56</b> Plànol contenidor disseny final. ....	85
<b>Figura. 57</b> Radis diferents seccions de l'embolcall. ....	87
<b>Figura. 58</b> Evolució temporal teòrica de la temperatura dintre la llauna. ....	89
<b>Figura. 59</b> Zoom en els primers instants de l'evolució temporal de la temperatura dintre la llauna. .....	89
<b>Figura. 60</b> Resultat de la fabricació del disseny final. ....	90
<b>Figura. 61</b> Assemblatge disseny final fabricat. ....	91
<b>Figura. 62</b> Procés d'adquisició de dades en el disseny final. ....	92
<b>Figura. 63</b> Zoom per apreciar el tap de EPS fabricat. ....	92
<b>Figura. 64</b> Gràfic de l'evolució de la temperatura en la llauna pel cas del embolcall final. ....	93

## Índex Taules

<b>Taula. 1</b> Nitrat d'amoni. ....	25
<b>Taula. 2</b> Urea. ....	27
<b>Taula. 3</b> Nitrat de potassi. ....	29
<b>Taula. 4</b> Carbonat de sodi decahidrat. ....	31
<b>Taula. 5</b> $T_{Rk} \Omega^{\circ}\text{C}$ NTC33K. ....	61
<b>Taula. 6</b> Resum gràfics cinètica de refredament. ....	69
<b>Taula. 7</b> Comparativa mesclades amb elements sols. ....	71
<b>Taula. 8</b> Resum components, temperatures i PH. ....	81
<b>Taula. 9</b> Càlcul volum total necessari interiorment. ....	82
<b>Taula. 10</b> Resum dels radis de l'embolcall. ....	87

## Sumari

<b>RESUM</b>	<b>3</b>
<b>SUMARI</b>	<b>8</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>13</b>
1.1. Origen del projecte.....	13
1.2. Motivació.....	14
1.3. Requeriments previs.....	14
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>15</b>
2.1. Objectius del projecte .....	16
2.2. Abast del projecte .....	16
<b>3. ESTAT DE L'ART</b>	<b>17</b>
3.1. Dissolucions[1].....	17
3.1.1. Composició de les dissolucions .....	18
3.1.2. Magnituds molars parcials .....	18
3.2. Reaccions endotèrmiques .....	23
3.2.1. Processos més utilitzats.....	24
3.3. Propagació de la Calor [8] .....	31
3.3.1. Transmissió de la calor .....	31
3.3.2. Conducció. Equació de la conducció de la calor a través d'una paret plana....	32
3.3.3. Resistència Tèrmica .....	36
3.3.4. Flux calorífic radial d'un cilindre .....	37
3.3.5. Convecció .....	43
3.3.6. Conducció i Convecció .....	44
3.4. Patents.....	46
3.4.1. Frigorífic convencional .....	46
3.4.2. V-TeX [9] .....	48
3.4.3. AISBER [10].....	50
<b>4. MATERIALS I MÈTODE</b>	<b>52</b>
4.1. Estris de laboratori .....	52
4.2. Sonda de temperatura .....	55
4.2.1. Hardware .....	55
4.2.2. Disseny del circuit electrònic.....	60
4.2.3. Calibratge del sensor .....	63

---

<b>5. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	<b>66</b>
<b>DISSENY DE L'EMBOLCALL</b>	<b>76</b>
5.1. Prototips d'assaig.....	76
5.2. Disseny Embolcall.....	82
5.2.1. Càlcul transmissió de calor embolcall .....	87
5.2.2. Disseny final i Assaig .....	90
<b>6. PATENT</b>	<b>94</b>
<b>7. ESTUDI ECONÒMIC</b>	<b>95</b>
7.1. Escandall econòmic.....	95
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>97</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>100</b>
Referències bibliogràfiques .....	100
Bibliografia complementària .....	101
<b>ANNEX PLÀNOLS</b>	<b>102</b>









# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

L'idea del present projecte neix d'una assignatura impartida en el tercer quadrimestre del màster de Enginyeria Industrial de l'ESTEIB anomenada Innovació Tecnològica. En aquesta assignatura es motiva a l'alumnat per que ideïn una proposta innovadora sobre algun nou producte o bé un nou tipus de servei que pugui aportar un valor diferencial a algun sector. Aquesta proposta innovadora ha de ser transformada amb un projecte el qual té un pes considerable en l'assignatura i que englobarà l'idea proposada a de més d'un estudi de mercat de possibles competidors i de més.

Arribat el moment de decidir quina seria la proposta d'innovació per part del grup de persones que conformava el equip, on es trobava també l'autor del present projecte, es va decidir conjuntament que la proposada en el següent projecte era la que tenia més possibilitats d'èxit degut a la seva simplicitat, originalitat i que a priori no hi havia cap tipus de competidor en el mercat.

Aquesta idea es basa amb la possibilitat de poder refredar un refresc mitjançant algun tipus de reacció endotèrmica, ja que hi havia coneixements de que avui dia en el mercat del gran consum existeixen sopes que mitjançant una reacció exotèrmica, que serveix per escalfar, tenen la possibilitat d'auto escalfar-se en qualsevol lloc de forma ràpida i còmoda. Aquestes reaccions ja existents en sopes estan dintre del propi embolcall del pot de sopa, però aïllades en una cambra separada ja que són tòxiques i s'ha d'assegurar que no entrin amb contacte amb el menjar.

Les qualitats que es busquen en aquesta possibilitat de refredar el refresc són les mateixes que per les reaccions exotèrmiques en els productes alimentaris i són la possibilitat de disposar d'aquesta energia de refredar el teu refresc de forma autònoma on es vulgui i quan es vulgui sense dependre de cap tipus d'aparell elèctric, només amb el propi embolcall del refresc.

Per tant es va iniciar la recerca de quins avenços havia pogut fer la indústria amb aquest tipus de reaccions per tal de comprovar quin era l'estat de l'art i també intentar respondre una pregunta fonamental que és <¿perquè no ho han fet ja?> si utilitzen el mateix principi per escalfar ja productes alimentaris. Llavors es va comprovar que ja existeixen patents del tipus, però que requereixen de productes químics molt tòxics i també delicats de manipular a de més que tampoc ofereixen la potencia de refredament necessària, per tant no viables per ser utilitzats en embolcalls reutilitzables.

Es va acabar per realitzar un seguit d'hipòtesis per la realització del treball d'Innovació Tecnològica les quals es sabia que eren inviables tant a nivell econòmic com també a nivell tecnològic ja que, es va suposar la utilització d'una reacció molt tòxica que no es viable ambientalment i molt menys per productes que han de ser reciclables.

Així doncs el present autor va decidir que pel següent quadrimestre que correspon a l'últim d'una carrera de sis anys podia utilitzar aquesta tímida idea sorgida d'una assignatura per intentar trobar una reacció que si oferís la possibilitat de refredar suficientment un refresc però sense ser tòxica.

## **1.2. Motivació**

El fet fonamental que promou la motivació en la realització d'aquest projecte és la de innovar en un sector que a títol personal crec que encara estar per explotar i que s'hi poden obrir moltes possibilitats. Una de les principals idees que impulsa aquest projecte es la de intentar buscar una reacció química que pugui complir el requeriments desitjats i que a més a més sigui totalment innòcua pel medi ambient i per tant també no causi cap tipus de contaminació pel medi ambient ni per els consumidors de les diferents aplicacions en productes de gran consum. El tema de calor i fred sempre m'ha entusiasmat personalment i a la final dels meus estudis haver tingut una idea amb aplicació industrial innovadora i que requereix de coneixements de termodinàmica, engloba tot el que podia desitjar en un treball de fi de màster.

## **1.3. Requeriments previs**

Com a requeriments previs han estat claus les primeres etapes de recerca sobre les possibilitats del producte en l'assignatura de Innovació Tecnològica, ja que es van establir les bases de l'abast d'aquest projecte. També va ser clau el feedback rebut per part dels companys en la presentació de l'idea ja que ens van plantejar algunes possibles barreres que superar de tipus social, ètic i també físiques a l'hora de la realització del projecte.

## 2. Introducció

El present projecte presenta l'idea de la realització d'un embolcall per refrescos que mitjançant una reacció endotèrmica sigui capaç de auto-refredar la beguda fins una temperatura adequada. Aquest embolcall ha de ser suficientment rígid i compacte per ser paletitzable ja que es considera que aquest embolcall pot ser d'un sol ús per tant anirà juntament amb el refresc. Aquesta reacció però ha de ser suficientment potent per poder ser útil en diferents temperatures ambient i també per tal de requerir poca quantitat d'aquesta i que l'embolcall sigui d'un volum adequat.

La temperatura recomanada per beure un refresc oscil·la entre els 7°C i 10°C que és aproximadament a la temperatura que té interiorment una nevera estàndard, per tant suposant una temperatura ambient d'uns 30°C s'haurà d'aconseguir un gap tèrmic d'un 20°C mitjançant la reacció endotèrmica.

Es plantegen però diferents problemes, com són la toxicitat dels productes químics en les reaccions endotèrmiques, també la solubilitat d'aquestes a diferents temperatures i el preu que tenen, aquests aspectes seran clau per l'èxit del projecte ja que actualment existeixen diverses reaccions endotèrmiques molt potents però que també són molt tòxiques. Per tant possiblement la no comercialització d'aquestes ha estat deguda a la seva elevada toxicitat i així doncs a la impossibilitat de comercialitzar-ho juntament amb elements comestibles.

Per tant en un principi ens basarem amb la recerca d'una reacció no tòxica, suficientment potent i que suposi un cost per unitat assequible. Es realitzarà una recerca de les diferents reaccions endotèrmiques conegudes actualment i s'establirà una llista en funció de la seva potencia, toxicitat i també solubilitat ja que es veurà que és una variable clau en l'anomenada potència de la reacció.

Posteriorment un cop es tingui la reacció es procedirà a l'eficàcia d'aquesta en refredar una llauna de 250ml, per tal d'estudiar quines són les transmissions de calor que hi ha entre els diferents elements per tal d'intentar treure'n el màxim benefici possible.

Un cop establerts els materials més idonis per la fabricació de l'embolcall es procedirà al disseny del mateix mitjançant l'eina SolidWorks, el qual s'anirà modificant en funció dels resultats obtinguts mitjançant l'experimentació per tal d'arribar a un disseny final que reculli tot el coneixement obtingut en les diferents etapes del projecte.

## 2.1. Objectius del projecte

Per tant com a objectius del projecte s'estableixen;

- Recerca i experimentació amb reaccions endotèrmiques
- Anàlisi termodinàmic de les diferents reaccions
- Experimentació amb diferents materials per l'aïllament tèrmic
- Continu re-disseny de l'embolcall per tal d'aplicar els resultats obtinguts
- Crear un disseny final que sigui viable per fabricar, útil i viable també per la seva comercialització

## 2.2. Abast del projecte

L'impacte d'aquest projecte es arribar a poder disposar d'una reacció no tòxica suficientment potent per aconseguir la refrigeració del refresc desitjada i que el disseny de l'embolcall sigui de fàcil fabricació i per tant sigui viable a nivell de costos. També que sigui un disseny agradable pel consumidor i que també tingui unes dimensions manejables per l'usuari ja que ha de poder ser ergonòmic per la majoria de usuaris.

### 3. Estat de l'art

En aquesta part del projecte realitzarà la contextualització de quines són actualment les reaccions endotèrmiques més utilitzades en l'indústria i també quines patents existeixen actualment amb la mateixa funcionalitat o bé semblants al que es vol realitzar en aquest projecte.

Per part de les reaccions es mesurarà quina és la seva capacitat per refredar i també quina toxicitat comporten aquestes a més de tenir en compte el preu que suposen els diferents agents químics. Tots aquets factors seran útils per comprovar la viabilitat d'aquestes en l'objecte del projecte i també establir quines són les barreres a superar en aquest sentit.

En el cas de les diferents patents relacionades en l'objecte del projecte es pretén fer un repàs de quines han estat les diferents invencions que s'han realitzat i amb aquestes veure quins són els trets diferenciadors entre elles. També es pretén veure els possibles problemes de viabilitat que han pogut suposar la no comercialització i per tant no explotació de la indústria d'aquestes per tal de obtenir ja un primer feedback per la realització del el disseny.

#### 3.1. Dissolucions[1]

Una dissolució és una mescla homogènia; és a dir, una dissolució és un sistema mono-fàsic amb més d'un component, la fase pot ser sòlida, líquida o bé gasosa.

Per la producció de calor i fred mitjançant reaccions químiques existeixen dos tipus de reaccions que són capaces de fer-ho en major o menor mesura, aquestes són les reaccions exotèrmiques i les reaccions endotèrmiques que és produeixen mitjançant una dissolució de solut com pot ser una sal en un dissolvent com per exemple aigua.

El funcionament d'aquestes reaccions es basa amb al dissolució de sals en un medi aquos que en el present projecte s'estudiarà quan s'utilitza com a medi l'aigua, ja que té un dels majors poder calorífics i per tant major poder d'emmagatzemar calor.

Dintre dels diferents tipus de dissolucions es poden diferenciar dos tipus les ideals i les no ideals, on els seu funcionament es diferent i les seves repercussions a nivell termodinàmic també ho és. En el present projecte sols es contempla veure quina és la repercussió termodinàmica ja que és la variable que repercuteix de forma directa en l'objecte del projecte, tot i que s'ha de dir que hi ha altres variables que també es veuen afectades degut a la no idealitat d'una dissolució.

Una d'aquestes variables que no es contempla i que es veu afectada es el volum final d'una dissolució que es diferent a la suma de volums parcials dels components que la formes prèviament a realitzar la dissolució. S'explicarà aquest efecte que succeeix en les dissolucions però de forma que posteriorment es pugui explicar les repercussions que té en el calor de dissolució de la mescla.

### 3.1.1. Composició de les dissolucions

La composició d'una dissolució pot especificar-se de diferents formes. Es defineix la fracció molar  $x_i$  d'una espècie  $i$  per mitja de l'equació  $x_i = \frac{n_i}{n_{tot}}$  sent  $n_i$  el nombre de mols d'una espècie  $i$ , i  $n_{tot}$  el nombre total de mols de totes les espècies presents en la dissolució. Es defineix la concentració molar o bé concentració volumètrica  $c_i$  d'una espècie  $i$  per mitjà de l'equació  $c_i = \frac{n_i}{V}$ , on  $V$  és el volum de la dissolució. En dissolucions líquides, la concentració molar d'una espècie, expressada en mols per litre ( $dm^3$ ) s'anomena molaritat. La concentració massica  $\rho_i$  d'una espècie  $i$  en una dissolució de volum  $V$  és  $\rho_i = \frac{m_i}{V}$ , on  $m_i$  és la massa de l'espècie  $i$ . Es defineix per conveni escollir el subíndex A pel dissolvent i pel solut el subíndex B.

### 3.1.2. Magnituds molars parcials

Suposant una dissolució mesclada a temperatura i pressió constants  $n_1, n_2, \dots, n_r$  mols de substàncies 1,2, ...,  $r$ . Sent  $V_{m,1}^*, \dots, V_{m,r}^*$  els volums molars de les substàncies pures 1,2, ...,  $r$  a  $T$  i  $P$  i sigui  $V^*$  el volum total dels components sense mesclar (purs) a  $T$  i  $P$ . El asterisc indica que la propietat es refereix a una substància pura o a un conjunt de substàncies pures. Llavors es té :

$$V^* = n_1 V_{m,1}^* + n_2 V_{m,2}^* + \dots + n_r V_{m,r}^* = \sum_i n_i V_{m,i}^* \quad (Eq. 1)$$

Després de la mescla, es troba en general que el volum  $V$  de la dissolució no es igual al volum previ de la mescla;  $V^* \neq V$ . La diferència entre  $V$  de la dissolució i  $V^*$  prové de (a) les diferències entre les forces intermoleculares existents en la dissolució i les existents en els components purs; (b) les diferències entre el empaquetament de les molècules en la dissolució i el seu empaquetament en els components purs degut a les diferents mides i formes de les molècules que es mesclen.

Es pot escriure l'equació (Eq.1) per qualsevol propietat extensiva, com per exemple  $U, H, S, G$  i  $C_p$ . Es troba que, en general, cada una d'aquestes propietats canvia al mesclar els components a  $T$  i  $P$  constants. Per tant es desitja obtenir expressions per el volum  $V$  de la dissolució i per la resta de les seves propietat extensives. Cadascuna d'aquestes propietats és funció de l'estat de la dissolució, que pot especificar-se per mitja de les variables  $T, P, n_1, n_2, \dots, n_r$ . Així doncs;

$$V = V(T, P, n_1, n_2, \dots, n_r), \quad H = H(T, P, n_1, n_2, \dots, n_r), \quad (\text{Eq. 2})$$

La diferencial total de  $H$  en l'equació (Eq.2) és:

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_{T, n_i} dP + \left(\frac{\partial H}{\partial n_1}\right)_{T, P, n_{i \neq 1}} dn_1 + \dots + \left(\frac{\partial H}{\partial n_r}\right)_{T, P, n_{i \neq r}} dn_r \quad (\text{Eq. 3})$$

El subíndex  $n_i$  en les dos primeres derivades parcials indica que tots els nombres de mols es mantenen constants, el subíndex  $n_{i \neq 1}$  indica que es mantenen constants tots els nombres de mols excepte  $n_1$ . Es defineix l'entalpia parcial d'una substancia  $j$  en la dissolució com:

$$\bar{H}_j = \left(\frac{\partial H}{\partial n_j}\right)_{T, P, n_{i \neq j}} \quad \text{sistema monofàsic} \quad (\text{Eq. 4})$$

Sent  $H$  l'entalpia de la dissolució on la derivada parcial es realitza mantenint constants  $T, P$  i tots els nombres de mols excepte  $n_j$ . Així doncs l'equació (Eq.3) resulta:

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{P, n_i} dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_{T, n_i} dP + \sum_i \bar{H}_i dn_i \quad (\text{Eq. 5})$$

La equació (Eq.5) dona el canvi de entalpia infinitesimal  $dH$  que es produeix quan la temperatura, pressió i nombre de mols de la dissolució varia en  $dT, dP, dn_1, dn_2, \dots$

A continuació es calcula una expressió para l'entalpia  $H$  d'una dissolució.  $H$  depèn de la temperatura, la pressió i el nombre de mols. Per a valors fixes de  $T, P$  i de les fraccions molars de dissolució,  $x_i$ , el volum, que es una propietat extensiva, és directament proporcional al nombre total de mols  $n$  per a unes  $T, P, x_1, x_2, \dots, x_r$  donades, l'equació de  $H$  ha de tenir la forma:

$$H = nf(T, P, x_1, x_2, \dots) \quad (\text{Eq. 6})$$

On  $n = \sum_i n_i$  i on  $f$  es alguna funció de  $T, P$  i les fraccions molars.

Diferenciant en l'equació (Eq.6) a  $T, P, x_1, x_2, \dots, x_r$  constants s'obté:

$$dH = f(T, P, x_1, x_2, \dots)dn \quad (\text{Eq. 7})$$

A  $T$  i  $P$  constants, l'equació (Eq.5) passa a ser:

$$dH = \sum_i \bar{H}_i dn_i \quad (\text{Eq. 8})$$

Es sap que  $x_i = \frac{n_i}{n}$ , per tant,  $dn_i = x_i dn + n dx_i$ . Per a  $x_i$  constants,  $dx_i = 0$  i  $dn_i = x_i dn$ . Substituint a l'equació (Eq.8) s'obté:

$$H = \sum_i n_i \bar{H}_i \quad \text{sistema monofàsic} \quad (\text{Eq. 9})$$

Aquest resultat fonamental expressa l'entalpia  $H$  de la dissolució en funció de les entalpies molars parcials  $\bar{H}_i$  dels components de la dissolució on cada  $\bar{H}_i$  s'avalua a la temperatura, pressió i fraccions molars de la dissolució.



El canvi de volum produït al mesclar els components purs para formar la dissolució a  $T$  i  $P$  constants ve donat per la diferència entre l'equació (Eq.9) i l'equació (Eq.1) particularitzant per l'entalpia.

$$\Delta_{mez}H = H - H^* = \sum_i n_i(\bar{H}_i - H_{m,i}^*)$$

(Eq. 10)

On  $\Delta_{mez}$  indica el procés de mesclar (i no la mescla).

Si es parla dels calors integrals de dissolució, es té que per a una dissolució amb dos components, la magnitud  $\frac{\Delta H_{mez}}{n_B}$  es denomina calor integral de dissolució per mol de B en el dissolvent A, i es simbolitza per  $\Delta H_{int.B}$  :

$$\Delta H_{int.B} = \frac{\Delta H_{mez}}{n_B}$$

(Eq. 11)

On  $\Delta_{mez}H$  ve donada per l'equació (Eq.10) particularitzant per dos elements.

$\Delta H_{int.B}$  és un propietat intensiva que depèn de  $T, P, x_B$ . Físicament, el valor numèric de  $\Delta H_{int.B}$  és igual al calor absorbit per el sistema quan, a  $T$  i  $P$  constants, s'afegeix 1 mol de B pur a la quantitat suficient de A pur com per formar una dissolució de la fracció molar desitjada  $x_B$ .

El límit de  $\Delta H_{int.B}$  quan la fracció molar  $x_A$  tendeix a 1 és el *calor integral de dissolució a dilució infinita*  $\Delta H_{int.B}^\infty$  per mol de B en A. La magnitud  $\Delta H_{int.B}^\infty$  és igual al calor absorbit per el sistema quan és dissol 1 mol de solut B en una quantitat infinita de dissolvent A a  $T$  i  $P$  constants.

El calor integral de dissolució per mol de B suposa l'adició de 1 mol de B al dissolvent A pur per formar la dissolució, un procés en el qual la fracció molar de B canvia des de zero fins a un valor final de  $x_B$ . Si es suposa, per contra, que s'afegeix (a  $T$  i  $P$  constants) 1 mol de B a un volum infinit de dissolució la qual la fracció molar per a B és  $x_B$ . La composició de la dissolució romandrà constant durant aquest procés. El canvi d'entalpia per mol de B afegit quan B s'afegeix a  $T$  i  $P$  constants a una dissolució de composició constant s'anomena *calor diferencial de dissolució* de B en A, i es simbolitza per  $\Delta H_{dif.B}$ . La magnitud  $\Delta H_{dif.B}$  és una propietat intensiva que depèn de  $T, P$  i la composició de la dissolució. A partir de les definicions anteriors, es evident que a dilució infinita els calors integral i diferencial de dissolució es fan iguals:  $\Delta H_{int.B}^\infty = \Delta H_{dif.B}^\infty$ .

En lloc d'imaginar una dissolució de volum infinit, es pot imaginar l'adició a  $T$  i  $P$  constants d'una quantitat infinitesimal  $dn_B$  de B a una dissolució de volum finit i composició  $x_B$ . Si s'anomena  $dH$  al canvi d'entalpia que es produeix en este procés infinitesimal, llavors  $\Delta H_{dif.B} = \frac{dH}{dn_B}$  a la composició de  $x_B$ . Quan s'afegeix  $dn_B$  mols de B pur a la dissolució a  $T$  i  $P$  constants, l'entalpia de la dissolució canvia  $\Delta H_{dis} = \bar{H}_B dn_B$  aquest resultat es dedueix de la definició  $\bar{H}_B = \left( \frac{\partial H_{dis}}{\partial n_B} \right)_{T,P,n_{i \neq j}}$  i l'entalpia de B pur canvia en  $dH_B^* = -H_{m,B}^* dn_B$ .

El canvi total d'entalpia en aquesta adició és  $dH = \bar{H}_B dn_B - H_{m,B}^* dn_B$  i  $\Delta H_{dif.B} = \frac{dH}{dn_B} = \bar{H}_B - H_{m,B}^*$ ; Així doncs:

$$\Delta H_{dif.B} = \bar{H}_B - H_{m,B}^*$$

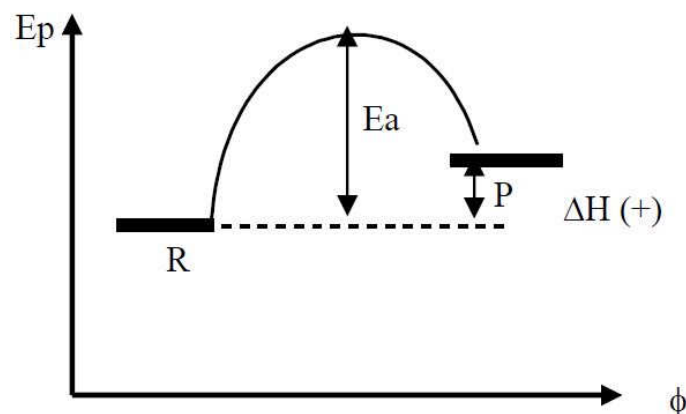
(Eq. 12)

El calor diferencial de dissolució de B es igual a l'entalpia molar parcial de B en la dissolució menys l'entalpia molar de B pur.

Un cop explicat quina es la base química que descriu tot el procés pel qual en una dissolució es produeix una aportació de calor al sistema o bé una extracció es poden definir les dissolucions en termes de calor de dissolució com, endotèrmiques o exotèrmiques.

### Processos endotèrmics

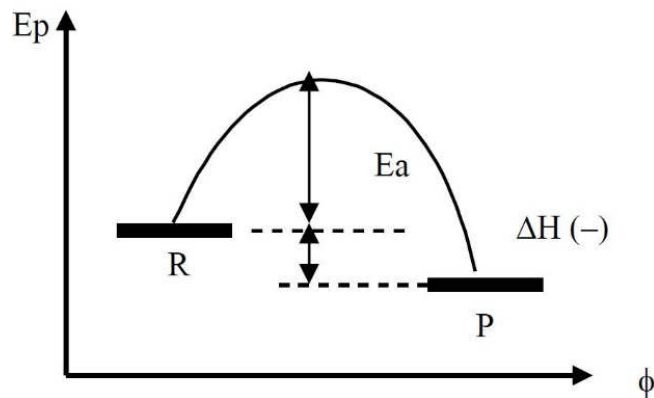
Nom que rep una reacció en el qual l'energia dels productes és superior a la dels reactius. En aquestes reaccions, la variació d'entalpia és positiva ( $\Delta H^0 > 0$ ).



**Figura. 1** Reacció Endotèrmica

### Processos exotèrmics

Nom que rep una reacció en la qual l'energia dels productes és inferior a la dels reactius. En aquestes reaccions, la variació d'entalpia és negativa ( $\Delta H^o < 0$ ).



**Figura. 2** Reacció Exotèrmica

### **3.2. Reaccions endotèrmiques**

En aquest projecte s'estudiarà més en particular el cas de les reaccions endotèrmiques ja que és el tipus de reacció que es requereix pel present estudi.

La definició explicada de forma no matemàtica com s'ha vist fins ara d'una reacció endotèrmica és:

“Una reacció endotèrmica en termodinàmica és un procés o reacció en el que el sistema absorbeix energia de l'entorn en forma de calor. La seva etimologia deriva del prefix grec «endo-», derivat alhora de la paraula ἔνδον, endon, "a dins" i el sufix grec -ther, que vol dir “escalfor” (endotèrmic = "escalfament intern"). Endotèrmic, es refereix en la química a una reacció que absorbeix calor del seu entorn. No s'ha de confondre aquest concepte amb endergònic, en una reacció endergònica s'absorbeix energia en qualsevol forma de l'entorn” [2]

Per tant s'entén que, una reacció endotèrmica quan es produeix requereix d'energia extra per produir-se i per tant absorbeix energia del entorn de la reacció per tal de poder produir la reacció que pel cas que s'estudia és la dissolució d'una sal en aigua. D'aquesta forma s'obté un refredament de l'entorn que conte el sistema que està reaccionant que en el cas que s'estudia vindria a ser la llauna de refresc.

Aleshores es plantegen diversos conceptes ha tenir en compte, el primer d'ells sabé quina variable controla la capacitat d'absorbir calor de les reaccions endotèrmiques, la qual s'anomena *calor de dissolució*. El segon concepte a tenir en compte és, l'extracció de calor que es produeix per part de la reacció es funció també de quina quantitat de sal ha estat dissolta en el dissolvent, es a dir, per dir-ho de forma fàcil com més solut es dissolt en el dissolvent més fred s'obté, per tant la solubilitat és un factor important.

“L'entalpia de solució, entalpia de dissolució o calor de dissolució és el canvi d'entalpia associat a la dissolució d'una substància en un solvent a pressió constant que resulta en una infinita dilució (*infinita* en teoria)”. [3]

La qual per les reaccions endotèrmiques serà positiva, ja que respecte al sistema que conforma la reacció de dissolució s'està extraient calor de fora del sistema i per tant el signe del vector tèrmic respecte el sistema ha de ser expressat com a positiu.

Així doncs es pot crear un coeficient per valorar de forma ràpida quina és la capacitat de refredament d'una sal per un cert volum constant de dissolvent.

Per tant, es pot crear el nostre coeficient de capacitat de refredament com;

$$K_{fred} = \Delta H_{int.B}^{\infty} * \frac{1}{m_{molar\ solut}} * solubilitat_{100mlH_2O}$$

(Eq. 13)

Relacionant amb un sol factor la entalpia de dissolució, la massa molar d'aquest i la solubilitat en aigua ja que l'entalpia de formació també la referenciem a l'aigua.

Aquest coeficient serà útil per poder realitzar comparacions entre diferents elements per tal de valorar la seva capacitat de refredament de forma ràpida i directa, així doncs es podrà decidir de forma fàcil la viabilitat dels diferents elements amb aquest coeficient.

### 3.2.1. Processos més utilitzats

Actualment hi ha diversos productes en el mercat que utilitzen les reaccions endotèrmiques, per algun tipus d'aplicació ja sigui per refrigerar coets o bé per productes alimentaris o també en l'àmbit farmacèutic.

En aquest apartat es realitzarà una enumeració de les diferents reaccions que són actualment conegudes per la indústria i que també s'utilitzen, analitzant els pros i contres que pot suposar l'aplicació d'aquestes en el present projecte.

Seguidament es procedeix a una explicació i anàlisi dels diferents reactius més utilitzats per l'indústria quan es parla de reaccions endotèrmiques.

### **Nitrat d'amoni**

El nitrat d'amoni és una sal formada per ions de nitrat i d'amoni. La seva fórmula química és  $NH_4NO_3$ . Es tracta d'un compost incolor i higroscòpic, altament soluble en aigua.

Les propietats que presenta són les següents:

**Nitrat d'amoni [4]**

Formulació	$NH_4NO_3$
Massa molar	$80 \frac{g}{mol}$
Solubilitat en aigua	$190 \frac{g}{100ml} (20^{\circ}C)$
$\Delta H_{int.B}^{\infty}$	$+ 25665,2 \frac{J}{mol}$
$K_{fred}$	$60,9549 \frac{kJ}{100 ml H_2O}$

**Taula. 1 Nitrat d'amoni.**

Per tal de tenir una idea de l'ordre de magnitud que suposa aquesta capacitat de fred es pot realitzar un senzill càlcul exemplificatiu.

Considerant una llauna de refresc de 250ml de beguda amb una temperatura ambient de 25°C la temperatura a la que arriba la beguda considerant el coeficient de fred que s'ha emprat i idealitat en la transmissió de calor;

$$T_f = \frac{-K_{fred}}{250 \cdot 4,18} + 25 = -33^\circ$$

(Eq. 14)

Queda de relleu que aquest reactiu químic és molt potent però té inconvenients ja que té una alta toxicitat i també perill d'explosió. Si s'analitza el seu rombe de seguretat és té que;



**Figura. 3** Rombe de seguretat Nitrat d'amoni.

En primer lloc una petita explicació mitjançant una llegenda de quin és el significat d'aquest rombe quan es realitza una valoració de la perillositat d'un element químic mitjançant aquest.



**Figura. 4** Rombe de seguretat.

S'aprecia que és un element bastant perillós, no inflamable, molt reactiu i oxidant.

Per aquestes característiques tot i ser un element molt potent no es recomanable la seva utilització amb contacte amb aliments ja que en cas d'ingesta podria tenir causes fatals pel consumidor de la beguda.

La seva principal aplicació és per fertilitzants pel seu alt contingut en nitrogen, el nitrat es directament aprofitat per les plantes, mentre que el amoni és oxidat pels microorganismes presents al terra i serveix per fertilitzant de més llarga duració.

També té una aplicació molt marcada en el camp de fabricació d'explosius ja que al ser un oxidant molt potent en combinar-se amb un hidrocarbur que pot ser dièsel o bé querosè crea un explosiu molt potent.

### Urea

Aquest reactiu químic va ser descobert el primer cop en l'orina humana per Hilaire Rouelle l'any 1773 i posteriorment va poder ser sintetitzat pel químic alemany Friedrich Wöhler l'any 1828, el primer compost orgànic sintetitzat artificialment i el procés de sinterització s'anomena síntesi de Wöhler en honor a aquest químic.

Les propietats que presenta són les següents:

**Urea [5]**

<b>Formulació</b>	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$
<b>Massa molar</b>	$60,06 \frac{g}{mol}$
<b>Solubilitat en aigua</b>	$107,9 \frac{g}{100ml} (20^\circ\text{C})$
$\Delta H_{int.B}^\infty$	$15000 \frac{J}{mol}$
$K_{fred}$	$26,948 \frac{kJ}{100 ml H_2O}$

**Taula. 2 Urea.**

S'aprecia com la capacitat de refredar és menys de la meitat que la del nitrat d'amoni, si es realitza el mateix exemple que s'ha utilitzat anteriorment per demostrar de quins ordres de magnitud s'estan tractant s'obté que;

$$T_f = \frac{-K_{fred}}{250 \cdot 4,18} + 25 = -0,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(Eq. 15)

S'aprecia que la temperatura a la que s'arriba és molt inferior, en gran part es degut a que la urea presenta una solubilitat de quasi be la meitat de la del nitrat d'amoni i sumant-hi el fet de que la calor de dissolució també es inferior s'obté una diferencia significant. Com a ús més estès per la urea es troba que el 91 % de la producció mundial s'utilitza per produir fertilitzants, ja que proveeix de nitrogen a les plantes.

Aquest reactiu ha passat a ser un dels principals substituents del nitrat d'amoni ja que es completament inert i no presenta cap tipus de toxicitat.

Té un inconvenient però i és que la seva capacitat de refredar es inferior a la del nitrat d'amoni tot i que aquest sacrifici en prestacions ofereix per contra un element totalment no tòxic pel cos humà.



**Figura. 5** Rombe de seguretat Urea.

També té aplicació en la indústria química per la seva utilització en adhesius, plàstics, resines, tints, productes farmacèutics i acabats per productes tèxtils, paper, metall i tàbac. Per últim uns dels usos més comuns que també trobem la utilització d'urea es com a complement alimentari pel bestiar, es mescla amb el menjar i li aporta nitrogen que és fonamental per la formació de les proteïnes.



### **Nitrat de potassi**

Antigament el nitrat de potassi era obtingut a partir d'una mescla de tota classe de rebutjos animals i cendres vegetals, que era regat amb aigua dels femers o amb orina. De quan en quan es raspava la capa exterior i es lixiviava el producte amb aigua. En la Índia en canvi s'ha observat que algunes plantes de fulles filiformes contenen gran quantitat d'aquesta sal.

El compost químic de nitrat de potassi, component del salnitre, nitrat potàssic o nitrat de potassa és un nitrat el qual la fórmula és  $KNO_3$ . Actualment, la majoria del nitrat de potassi ve dels vastos dipòsits de nitrat de sodi en els desert xilens. El nitrat de sodi és purificat i posteriorment se'l fa reaccionar en una solució amb clorur de potassi ( $KCl$ ), en el qual el nitrat de potassi, menys soluble, cristal·litza.

Les propietats que presenta són les següents:

**Nitrat de potassi [6]**

<b>Formulació</b>	$KNO_3$
<b>Massa molar</b>	$101,103 \frac{g}{mol}$
<b>Solubilitat en aigua</b>	$38 \frac{g}{100ml} (20^{\circ}C)$
$\Delta H_{int.B}^{\infty}$	$34861,2 \frac{J}{mole}$
$K_{fred}$	$13,102 \frac{kJ}{100 ml H_2O}$

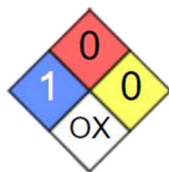
**Taula. 3** Nitrat de potassi.

Es pot comprovar que la capacitat de refredar del nitrat de potassi és la meitat de la urea, si es realitza el mateix exemple que s'ha mostrat anteriorment es té:

$$T_f = \frac{-K_{fred}}{250 \cdot 4,18} + 25 = 12,46^{\circ}C$$

(Eq. 16)

S'observa com és molt inferior la temperatura que s'aconsegueix amb aquest reactiu respecte els anteriors. Aquest reactiu és al igual que la urea molt poc tòxic però a diferència de la urea és oxidant, es pot veure en el seu rombe de seguretat:



**Figura. 6** Rombe de seguretat nitrat de potassi

Per tant aquest element té clarament un desavantatge respecte a la urea en quan a toxicitat i capacitat de refredament.

En quan a aplicacions, aproximadament el 75% del nitrat de potassi es manufactura amb una puresa del 90% para el seu ús com a fertilitzant. L'absència de clor és un avantatge per les plantacions de fruites cítriques i tabac, també s'usa en la producció de fertilitzants multi-nutrients.

El 25% de la producció de nitrat de potassi és de grau tècnic, d'una puresa mínima del 99%, del qual pràcticament el 50% s'utilitza en la metal·lúrgia, principalment en els banys de transferència de calor, entre el 10 i el 20 % és consumida a la indústria del vidre i la ceràmica.

### **Carbonat de sodi decahidrat**

El carbonat de sodi es utilitza per tustar el crom i altres extractes i disminueix el contingut amb sofre i fòsfor de la fundació i del acer. En la fabricació de detergents el carbonat de sodi és indispensable en las formulacions amb l'objecte d'assegurar el correcte funcionament de la resta de substàncies que el componen, enzims, tensioactius, etc. Durant les diferents fases del rentat.

No és de menys importància la utilització del carbonat de sodi en aquells processos en els que hi ha que regular el pH de diferents solucions, en referència al tractament d'aigües de l'indústria, així com en els processos de flotació.

**Carbonat de Sodi decahidraat [7]**

Formulació	$N_a2CO3 \cdot 10 H2O$
Massa molar	$286,14 \frac{g}{mol}$
Solubilitat en aigua	$55 \frac{g}{100ml} (20^{\circ}C)$
$\Delta H_{int.B}^{\infty}$	$67800 \frac{J}{mole}$
$K_{fred}$	$11,8 \frac{kJ}{100 ml H2O}$

**Taula. 4** Carbonat de sodi decahidrat.**3.3. Propagació de la Calor [8]**

En aquest apartat s'explicarà la teoria bàsica de termodinàmica referent a la transmissió de la calor per tal de poder entendre quines són les conseqüències de la utilització d'uns materials o altres en l'aïllament tèrmic de qualsevol sistema. Ja que s'explicarà en profunditat els temes de la conducció de calor, la convecció i radiació.

**3.3.1. Transmissió de la calor**

La propagació de la calor és un fenomen direccional orientat des dels cossos de temperatura més alta cap als cossos de temperatura més baixa, i per tant tendeix a anul·lar la diferència de temperatures. El procés de transport d'energia calorífica es pot desenvolupar de tres formes diferents: conducció, convecció i radiació.

La calor es propaga per conducció quan el cos calent i el fred estan en contacte, o bé quan existeix un medi material a través del qual es transporta la calor sense moviment macroscòpic de matèria. Així, per exemple quan s'escalfa un dels extrems d'una barra metàl·lica alhora que es subjecta per l'altre extrem amb la mà, es pot observar que aquest extrem de la barra s'escalfa més i més, tot i que no està en contacte de forma directa amb el focus de calor.

En el procés de conducció, les molècules de les regions pròximes al focus calent van cedint energia cinètica, mitjançant xocs, a les molècules de les regions adjacents més fredes; s'estableix un flux d'energia de les regions del focus calent a les del focus fred.

El fenomen de la conducció es presenta fonamentalment en els sòlids, encara que s'observa també en els fluids, acompanyant la convecció. En el cas concret dels metalls, els electrons del núvol electrònic de l'interior de la xarxa cristal·lina es mouen a través seu i contribueixen eficaçment a la propagació de la calor.

La convecció és un tipus de propagació exclusiu dels fluids i està associat a un desplaçament macroscòpic de la massa del fluid. Quan s'escalfa la part interior d'un fluid contingut en un recinte, es pot observar que la part superior augmenta de temperatura. Això és degut a un moviment visible d'ascensió del fluid causat per la variació de densitat amb la temperatura. El fluid més calent disminueix la densitat i, com que és més lleuger, puja mentre que el fluid més fred, com que és més dens, baixa. Aquesta situació és característica de tots els fluids excepte de l'aigua a l'interval de dilatació anòmal (de 0 a 4°C).

La radiació consisteix en la transmissió de la calor entre dos cossos a diferent temperatura sense necessitat d'un medi material. Aquest mecanisme s'explica per l'emissió de radiació electromagnètica que experimenten tots els cossos. També s'explica així l'energia que arriba a la Terra i que prové del Sol a través de l'espai buit. En aquest estudi però no es considerarà l'efecte de la radiació degut al seu baix pes en la transmissió de calor en el cas d'estudi.

En els sòlids, la conducció és el mecanisme principal de propagació de la calor, l'únic si són sòlids opacs a la radiació. En els fluids, la convecció és el mecanisme dominant; la conducció és, en general, de poca importància.

Quan actuen simultàniament dos o tres d'aquests processos, l'energia tèrmica transmesa s'obté sumant les quantitats transmeses per mitjà dels diferents processos.

### **3.3.2. Conducció. Equació de la conducció de la calor a través d'una paret plana**

La conducció de la calor requereix l'existència d'un gradient de temperatura, i el flux calorífic pren la direcció d'aquest gradient.

En la conducció de la calor, el transport d'energia calorífica no implica desplaçament macroscòpic de matèria. En el cas dels fluids, la conducció tèrmica és el resultat dels xocs entre les molècules que tenen més energia cinètica i les que tenen menys.

Les primeres cedeixen energia a les segones i, en conseqüència, tendeixen a igualar les temperatures. Simultàniament, hi ha un transport calorífic per convecció a causa de les diferències de densitat produïdes per les diferències de temperatura.

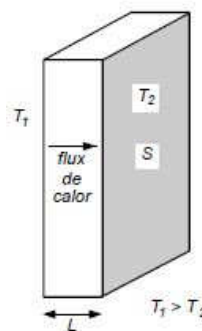
En el cas dels sòlids, l'únic moviment que es permet a les molècules és el de vibració al voltant de les seves posicions d'equilibri; el procés de conducció calorífica es produeix per la transmissió de l'energia de vibració de la xarxa cristal·lina, i s'explica per mitjà de les forces elàstiques d'enllaç que hi ha entre els àtoms i les molècules de la xarxa.

En el cas dels metalls, hi ha un efecte d'enllaç que hi ha entre els àtoms i les molècules de la xarxa. En el cas dels metalls, hi ha un efecte addicional a causa dels electrons que es poden moure lliurement a l'interior de la xarxa cristal·lina i que es comporten de forma anàloga a les molècules d'un gas.

Són molt nombrosos els fets pels quals queda palesa la diferent capacitat de cada substància per conduir la calor. Així quan s'escalfa amb la flama d'un bec de gas un dels extrems d'una vareta metàl·lica alhora que es subjecta amb la mà per l'altre extrem, s'aprecia com creix de forma ràpida la temperatura de l'extrem de la mà. En canvi, si la vareta és de vidre, l'augment de temperatura que experimenta l'extrem és tant lent que és difícil d'apreciar.

Per aquest motiu, els cossos bons conductors de calor (com els metalls) semblen freds al tacte els dies que fa fred i més calents els dies que fa calor que d'altres que són mals conductors de la calor (fusta, suro, vidre, etc..). Això és degut al fet que els primers, com que són bons conductors de la calor, el transmeten més ràpidament que els segons. S'explicarà en primer lloc la conducció calorífica a través d'una placa plana i posteriorment ja es particularitzarà pel cas que es requereix.

Es considera una làmina uniforme de secció transversal  $S$  i gruix  $L$ . Es manté la cara esquerra de la làmina a una temperatura  $T_1$  i la dreta una temperatura inferior  $T_2$ . L'energia tèrmica passa a través de la làmina d'esquerra a dreta; és a dir, es dirigeix cap a temperatures inferiors (flux de calor). Quan a les cares de les làmines s'han mantingut a les temperatures  $T_1$  i  $T_2$  durant un temps suficientment llarg, la temperatura dels punt intermedis de la làmina disminueix uniformement amb la distància des de l'extrem més calent fins al més fred, però la temperatura de cada punt no varia amb el temps (estat estacionari).



**Figura. 7** Placa plana.

Experimentalment es troba que, a l'estat estacionari, el flux de calor per unitat de temps (ritme de flux de calor) a través de la làmina és directament proporcional a l'àrea  $S$  i a la diferència de temperatures  $T_1 - T_2$  i inversament proporcional a la longitud  $L$  (gruix):

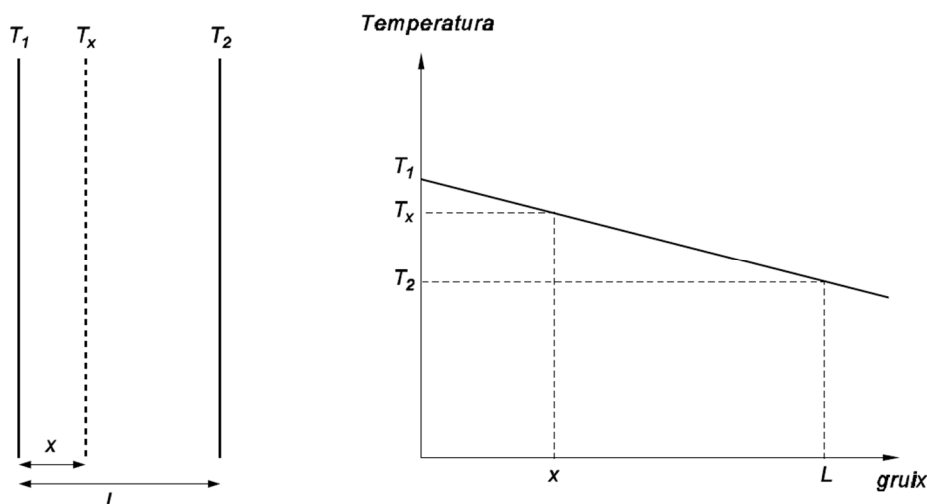
$$H = \frac{KS(T_1 - T_2)}{L}$$

(Eq. 17)

On  $H = \frac{Q}{t}$  és la quantitat d'energia tèrmica (calor) que travessa la làmina per unitat de temps i  $K$  és una magnitud característica de cada material que anomenem coeficient de conductivitat tèrmica o, simplement conductivitat tèrmica.

La conductivitat tèrmica d'un material és la quantitat d'energia tèrmica que travessa per conducció, en la unitat de temps, de superfície i sota una diferència de temperatures d'un grau, un gruix unitari.

Implícitament s'ha suposat que la làmina està aïllada lateralment i, per tant, no hi ha pèrdues laterals d'energia. L'equació (Eq.13) també es pot usar per calcular el ritme de flux de calor a través d'una barra aïllada lateralment, o de qualsevol cos homogeni amb una secció transversal uniforme perpendicular a la direcció del flux (a una paret plana, per exemple), sempre que el cos hagi assolit un estat estacionari i es mantinguin els extrems a temperatures constants. Com que el ritme de flux de calor és constant a totes les seccions, com a conseqüència de la situació estacionària en que es troba, l'expressió (Eq.13) permet trobar la temperatura  $T_x$  d'una secció transversal qualsevol de la làmina o de la paret en funció de la distància a una de les seves cares.



**Figura. 8** Temperatura en funció del gruix  $L$ .

$$T_x = T_1 - \frac{(T_1 - T_2)x}{L}$$

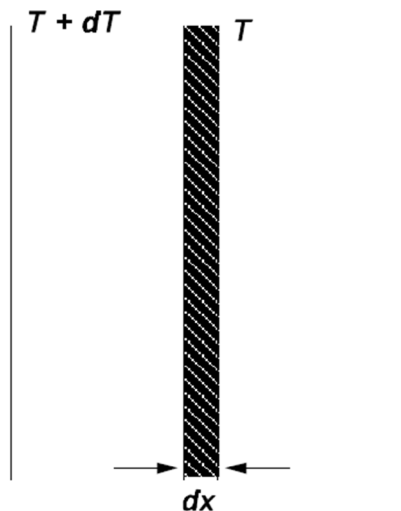
(Eq. 18)

Si la secció transversal no és constant, o bé si no hi ha una situació estacionària, la temperatura no canvia necessàriament de manera uniforme segon la direcció del flux, però encara es pot usar l'equació (Eq.13) si es refereix a una capa prima d'una substància de gruix  $dx$  en la direcció del flux, i s'obté:

$$H = -KS \frac{dT}{dx}$$

(Eq. 19)

Seguidament es mostra la figura que representa l'equació anterior (Eq.15) on  $dT$  és el canvi de temperatura en un  $dx$ . El signe negatiu apareix ja que la temperatura descendeix al llarg del gruix de la placa.



**Figura. 9** Variació de temperatura en un diferencial de gruix

L'equació (Eq.15) és l'equació general de la conducció de la calor en una sola dimensió. El canvi de temperatura per unitat de longitud  $\frac{dT}{dx}$  és el gradient de temperatura.

A l'equació (Eq.13) es pot veure clarament que com més gran sigui la conductivitat tèrmica  $K$ , més gran és el flux de calor per unitat de temps, si es mantenen invariables les altres magnituds que hi ha a l'equació.

Una substància és un bon conductor de la calor si  $K$  és gran; si  $K$  és petita, és un mal conductor de la calor, és a dir, un bon aïllament tèrmic. No hi ha cap conductor de calor perfecte ( $K = \infty$ ), ni ha cap aïllant de calor perfecte ( $K = 0$ ).

Ara bé, es pot comprovar que els metalls formen un grup que té conductivitats tèrmiques més grans que les dels no-metalls, i que les conductivitats tèrmiques dels líquids i els gasos són molt petites.

Com s'ha esmentat en el principi d'aquest punt, és un fet conegut que els metalls són bons conductors de l'electricitat i de la calor. Es decisiu en ambdós fenòmens la presència d'electrons lliures (núvol electrònic) a l'estructura cristal·lina del metall, que proporcionen un mecanisme eficaç per tal de transportar energia tèrmica des de les parts calentes cap a les més fredes del metall.

### 3.3.3. Resistència Tèrmica

Aquesta conducció o bé vist inversament com resistència tèrmica en els materials esmentada amb el coeficient  $K[\frac{W}{K}m]$  que quantifica la conductivitat d'un material en condicions estacionaries és pot aplicar una analogia amb les resistències elèctriques per tal de poder agrupar resistències i sumar-les en sèrie o paral·lel.

Si es recorda la llei d'Ohm es té que una resistència elèctrica es defineix com:

$$R_E = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\sigma S}$$

(Eq.20)

On  $\sigma = 1/\rho$  és la conductivitat elèctrica, per tant la llei d'Ohm resulta:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{V_1 - V_2}{R_E} = \frac{V_1 - V_2}{\frac{l}{\sigma S}} = \frac{\sigma S(V_1 - V_2)}{l}$$

(Eq. 13)



On  $I = q/t$  és la intensitat de corrent i  $V_1 - V_2$ , la diferència de potencial. Com que l'equació (Eq.13) es pot escriure com:

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{KS(T_1 - T_2)}{L} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{L}{KS}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

(Eq. 14)

Si es comparen les equacions (Eq. 17) i (Eq.18), és lògic anomenar  $L/KS$  resistència tèrmica de la làmina. La diferència de potencial de l'electricitat és anàloga a la diferència de temperatures quan es parla de la conducció de la calor. La resistència tèrmica d'una lamina homogènia i uniforme, que pot ser una paret plana, una barra, etc., metàl·lica o no, és:

$$R = \frac{L}{KS}$$

(Eq. 23)

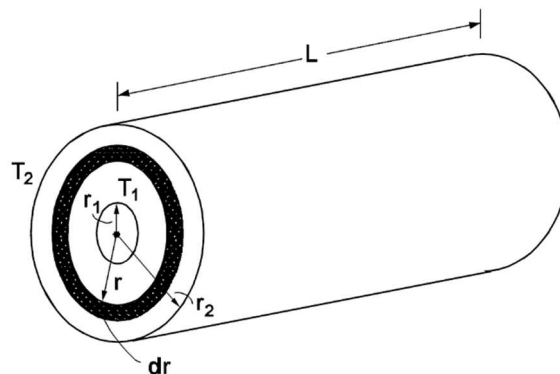
Com es veurà més endavant, l'expressió de la resistència tèrmica varia segon el sistema concret que s'utilitzi, i depèn de la seva geometria (làmina, cilindre, esfera, etc) i del material (conductivitat). Així i tot, l'expressió de l'equació de la calor manté la forma:

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

(Eq. 24)

### 3.3.4. Flux calorífic radial d'un cilindre

Es té ara un tub cilíndric de conductivitat tèrmica  $K$ , radi interior  $r_1$ , radi exterior  $r_2$  i longitud  $L$ , com s'indica en la següent figura 10.



**Figura. 10** Esquema d'un cilindre.

Es vol trobar el flux de calor que passa a través de la superfície lateral del cilindre, és a dir, el flux calorífic radial. El gradient de temperatura no és uniforme en la direcció del flux, fins i tot en l'estat estacionari.

Si la temperatura de la superfície interior  $T_1$  és més gran que la temperatura de la superfície exterior  $T_2$ , l'energia tèrmica es dirigeix des de l'interior cap a l'exterior i en l'estat estacionari el flux de calor per unitat de temps,  $H$ , és el mateix a través de totes les superfícies cilíndriques que tenen el mateix eix que el cilindre, i el seu radi  $r$  està entre  $r_1$  i  $r_2$ .

Si  $S$  és l'àrea de la superfície cilíndrica i  $dT/dr$  és el gradient de temperatura, es pot escriure :

$$H = -KS \frac{dT}{dr} = \text{constant} \quad (\text{Eq. 25})$$

Si es suposa  $S = 2\pi rL$  i es separen les variables, es té:

$$H = -K2\pi rL \frac{dT}{dr} \quad (\text{Eq. 26})$$

$$H \frac{dr}{r} = -2\pi KLdT \quad (\text{Eq. 15})$$

Quan s'integra aquesta equació entre  $r_1$  i  $r_2$ ,  $T_1$  i  $T_2$  s'obté el flux de calor per unitat de temps de la diferència de temperatures i de la geometria del sistema:

$$\begin{aligned} \int_{r_1}^{r_2} H \frac{dr}{r} &= \int_{T_1}^{T_2} -2\pi KLdT \rightarrow \\ \rightarrow H(\ln r_2 - \ln r_1) &= -2\pi KL(T_2 - T_1) \rightarrow \\ \rightarrow H &= 2\pi \frac{KL(T_2 - T_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (\text{Eq. 28}) \end{aligned}$$

O bé:

$$H = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

(Eq. 29)

On:

$$R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi KL}$$

(Eq. 30)

Es la resistència tèrmica en aquest cas.

L'equació (Eq.24) dóna el flux de calor per unitat de temps que surt per la superfície lateral d'un tub cilíndric de conductivitat  $K$ , longitud  $L$  i radis  $r_1$  (interior) i  $r_2$  (exterior), com a conseqüència de la diferència de temperatures  $T_1 - T_2$ , que hi ha entre la superfície interna i l'externa.

Com que en el cas estacionari  $H$  és constant, per a una superfície cilíndrica qualsevol de radi  $r$  ( $r_1 \leq r \leq r_2$ ), que es troba a temperatura  $T$  ( $T_1 \geq T \geq T_2$ ), és té:

$$H = 2\pi \frac{KL(T_1 - T)}{\ln \frac{r}{r_1}} = 2\pi \frac{KL(T_2 - T)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

(Eq. 31)

D'on

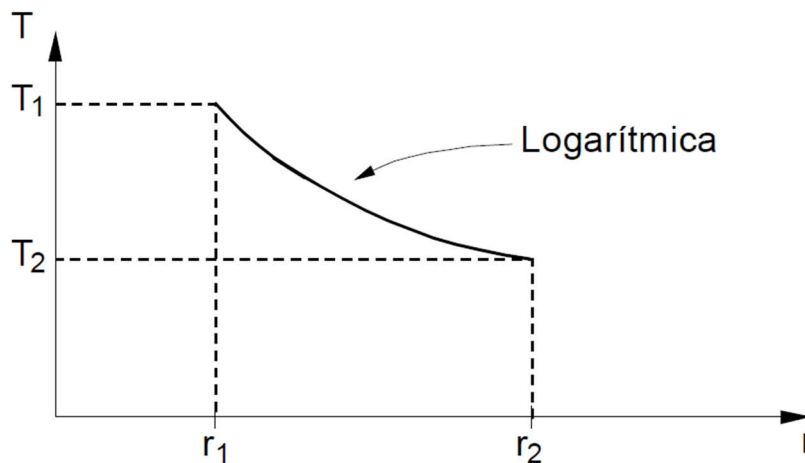
$$T = T_1 - \frac{(T_2 - T_1) \ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad r_1 \leq r \leq r_2 \text{ i } T_1 \geq T \geq T_2$$

(Eq. 32)

L'equació (Eq.28) dóna la temperatura en funció del radi de la superfície (és a dir, de la distància a l'eix del cilindre).

Aquesta variació es representa a la figura 11, on s'aprecia que la variació de temperatures no és lineal entre els dos radis  $r_1$  i  $r_2$  a diferència del que s'havia vist en el cas d'una geometria de plaques planes.

Aquesta variació de temperatura en funció del radi concretament és logarítmica com es dedueix de l'equació (Eq.28).



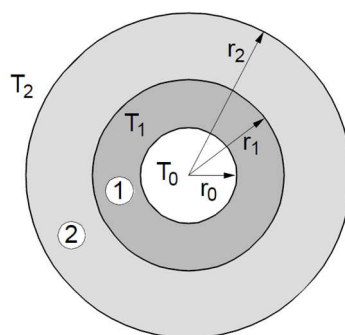
**Figura. 11** Gràfic temperatura cilindre en funció del radi

L'expressió per al gradient de temperatura és:

$$\frac{dT}{dr} = -\left(\frac{1}{r}\right) \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

(Eq. 33)

On es pot veure clarament que no és constant, com ja s'havia dit, ja que depèn de  $r$ . Aquesta expressió es pot obtenir a partir de (Eq.22) i (Eq.24), o bé derivant (Eq.28) respecte de  $r$ .



**Figura. 12** Secció del cilindre.

Si ara es considera que el tub està format per dues capes cilíndriques de radis  $r_0$ ,  $r_1$  i  $r_2$ , i conductivitats  $K_1$  i  $K_2$  (Figura 12), per a l'estat estacionari es pot aplicar la relació (Eq.24) a la capa 1 i a la capa 2.

Capa 1:

$$H = 2\pi \frac{K_1 L (T_0 - T_1)}{\ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{T_0 - T_1}{R_1}$$

(Eq. 34)

Capa 2:

$$H = 2\pi \frac{K_2 L (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_2}$$

(Eq. 35)

On:

$$R_1 = \frac{\ln \frac{r_1}{r_0}}{2\pi K_1 L}$$

(Eq. 36)

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi K_2 L}$$

(Eq. 37)

Són les resistències tèrmiques de les capes 1 i 2, respectivament.

De (Eq.34) i (Eq.35),

$$T_0 - T_1 = R_1 H$$

(Eq. 38)

$$T_1 - T_2 = R_2 H$$

(Eq. 39)

Com que a l'estat estacionari  $H$  és igual a cada capa i en el conjunt de les dues capes, s'obté, d'una banda, sumant les expressions anteriors,

$$T_0 - T_2 = (R_1 + R_2)H$$

(Eq. 40)

i, de l'altra, aplicant (Eq.29) al conjunt

$$T_0 - T_2 = RH$$

(Eq. 41)

Amb la qual cosa, comparant, s'obté un altre cop que  $R = R_1 + R_2$ ; és a dir, les capes estan associades en sèrie, com és fàcil veure. Així,

$$H = \frac{T_0 - T_2}{R} = \frac{T_0 - T_2}{R_1 + R_2} = 2\pi \frac{L(T_0 - T_2)}{\frac{1}{K_1} \ln \frac{r_1}{r_0} + \frac{1}{K_2} \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

(Eq. 42)

De forma anàloga, les expressions de la temperatura en funció del radi i els gradients de temperatura són :

Capa 1:

$$T = T_0 - \frac{(T_0 - T_1) \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_1}{r_0}}$$

$$\frac{dT}{dr} = -\left(\frac{1}{r}\right) \frac{T_0 - T_1}{\ln \frac{r_1}{r_0}}, \text{ per a } r_0 \leq r \leq r_1 \text{ i } T_0 \geq T \geq T_1$$

(Eq. 43)

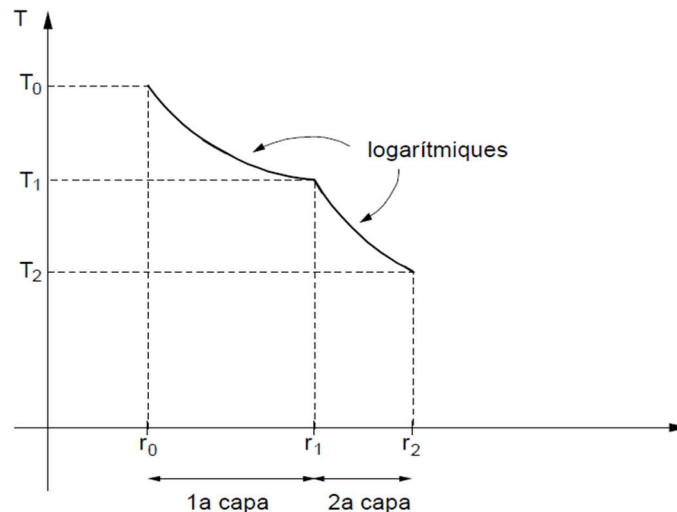
Capa 2:

$$T = T_1 - \frac{(T_1 - T_2) \ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\frac{dT}{dr} = -\left(\frac{1}{r}\right) \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \text{ per a } r_1 \leq r \leq r_2 \text{ i } T_1 \geq T \geq T_2$$

(Eq. 44)

I el gràfic de temperatura en funció de la distància a l'eix (radi) és com el que es mostra a la figura



**Figura. 13** Gràfic de temperatura en funció del radi en les diferents capes.

### 3.3.5. Convecció

Com ja s'ha dit al principi, en parlar de la transmissió de la calor en general, la convecció està lligada al moviment macroscòpic de la matèria. Això pot ser degut als efectes gravitatoris (principi d'Arquímedes) creats per les variacions de densitat que produeixen les diferències de temperatures, que donen pas a corrents ascendent i descendents en els fluids (la convecció és pròpia dels fluids); en aquest cas, es parla de convecció natural o lliure. Si s'obliga el fluid a moure's mitjançant una causa externa (ventilador, etc.), i s'activa així la propagació de la calor, aleshores es parla de convecció forçada.

La propagació de la calor per convecció té múltiples aplicacions tècniques. Molts tipus de calefaccions domèstiques es fonamenten en la convecció. Per exemple, l'aigua calenta que procedeix de la caldera puja per convecció fins al radiadors, on es refreda, i així torna un altre cop al dipòsit de la caldera, i es tanca el cicle. També el tiratge de les xemeneies es fonamenta en el mateix fenomen.

L'estudi de la convecció és complicat i no existeix cap equació senzilla, com passa en el cas de la conducció. Això és degut al fet que la calor que es guanya o es perd per una superfície sòlida a una certa temperatura, en contacte amb un fluid a una altra temperatura, depèn de molts factors.

Com ara la forma de la superfície, l'orientació de la superfície, el fet de que el fluid sigui un líquid o un gas, de la densitat, la viscositat, la calor específica i la conductivitat tèrmica, la velocitat del fluid, i de si hi ha evaporació, condensació o formació de pel·lícules.

A l'estudi pràctic de la convecció es defineix un coeficient de convecció, que s'anomena  $h$ . La calor que es guanya o es perd per unitat de temps (ritme de flux de calor),  $H$ , ve donada per l'expressió:

$$H = hS\Delta T$$

(Eq. 45)

On  $S$  és l'àrea de la superfície emissiva i  $\Delta T$  és la diferència de temperatures entre la superfície emissiva i la massa principal de fluid. La determinació del valor numèric del coeficient de convecció  $h$  per a un determinat dispositiu es realitza mitjançant experiències.

Es pot reescriure l'equació (Eq. 16) tal que:

$$H = \frac{\Delta T}{R} \quad R = \frac{1}{hS}$$

(Eq. 46)

### 3.3.6. Conducció i Convecció

En aquest apartat s'explica la base teòrica per tal d'entendre el cas de transmissió de calor que es té en aquest projecte en l'embolcall de la llauna, per tant es tractarà el cas específic d'un cilindre amb diferents capes, on entre elles es té conducció i convecció de diferents materials i fluids respectivament.

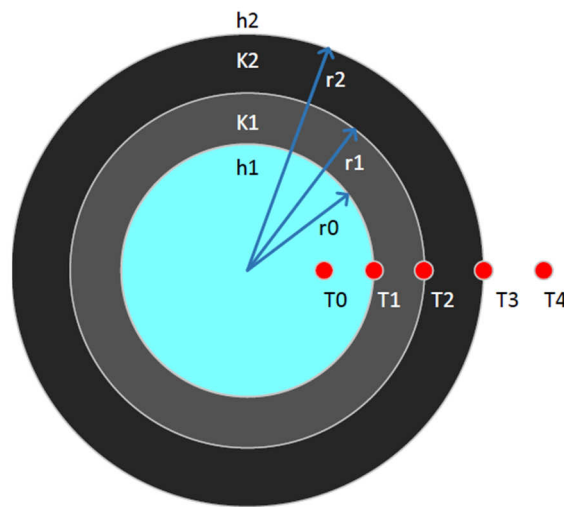
Considerant que es tingui dues capes de materials diferents i convecció interior i exterior es pot escriure la següent equació per valorar el calor guanyat o perdut en el sistema. Com la suma de les diferents resistències ja sigui per part de la conducció com per part de la convecció en paral·lel de forma que l'equació resultant és:



$$H_{04} = \frac{(T_0 - T_4)}{\frac{1}{2\pi r_0 L h_1} + \frac{\ln \frac{r_1}{r_0}}{2\pi K_1 L} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi K_2 L} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_2}}$$

(Eq. 47)

Es pot apreciar les diferents variables de l'equació anterior en la següent figura:



**Figura. 14** Cilindre amb convecció i conducció.

Aquesta serà la base teòrica que es farà servir en els càlculs d'aquest projecte on el factor de la radiació no es tindrà amb compte i es considerarà que la convecció en els fluids és produeix en estat estacionari, que és el cas més desfavorable i el més fàcilment calculable. En cas de tenir qualsevol tipus de moviment de fluid l'aportació de calor o bé l'extracció de calor seria més ràpida, i per tant es tindria més potència calorífica.

La *figura 14* mostrada anteriorment no representa l'esquema del cas a estudiar el qual s'especificarà en el corresponent apartat i es realitzarà el seu esquema també, però la base teòrica que ofereix aquest cas ajuda a comprendre com es té que realitzar el càlcul. Ja que és dedueix fàcilment quines seran les conseqüències d'afegir més capes de material o bé cambres de fluid.

### 3.4. Patents

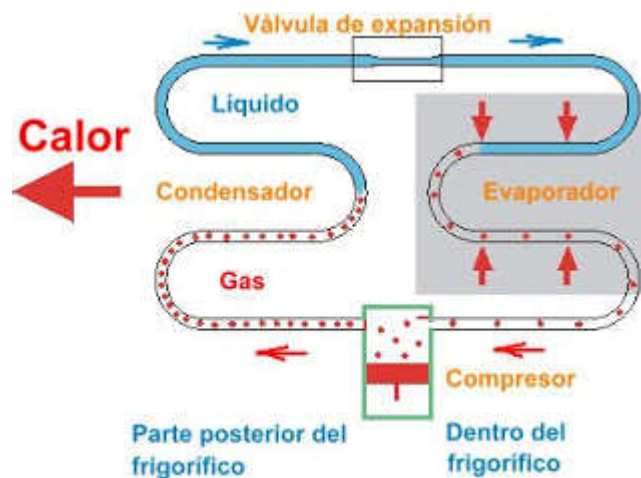
En aquest apartat es tractarà de realitzar un anàlisi de les diferents patents que existeixen en el mercat actualment que poden resultar principals competidors de l'idea del present projecte.

On s'inclourà des de patents que han estat comercialitzades que poden englobar una màquina o bé un producte fins a embolcalls que venen a ser una idea molt semblant a la que es presenta en aquest projecte però que no han arribat a comercialitzar-se mai.

#### 3.4.1. Frigorífic convencional

Aquest electrodomèstic encarregat de mantenir freds els aliments que es consumeixen en qualsevol habitatge d'un país desenvolupat, produeix fred mitjançant un compressor una vàlvula d'expansió i un serpentí encarregat d'absorbir la calor de dintre la nevera per transportar-la al exterior.

Seguidament es pot veure el cicle representat de forma gràfica per tal de que sigui més intel·ligible.



**Figura. 15** Cicle termodinàmic esquemàtic Frigorífic

En primer lloc s'aporta energia al sistema mitjançant el compressor, on es comprimeix el líquid refrigerant i es fa passar per un serpentí que serveix per dissipar l'energia que conté en forma de calor fins que aquest fluid en estat vapor condensa i passa a ser un líquid. Un cop fet això arriba a la vàlvula d'expansió on s'expansiona disminuint de forma dràstica la pressió del fluïd refrigerant.

Aquest un cop realitzada aquesta expansió degut a la descompressió que sofreix passa un altre cop a estat gasos, fet que per la llei dels gasos ideals s'entén de forma senzilla que produeix un descens dràstic de temperatura. Aquest fred s'encarrega d'absorbir la calor que hi ha dintre el frigorífic al llarg del serpentí que passa per dintre d'ell per transportar-la fora un altre cop, i així cíclicament fins aconseguir arribar a la temperatura desitjada en la qual el compressor s'aturarà.

Aquesta forma de refredar, ja sigui aliments o bé begudes que es l'objecte del projecte ha estat la forma per antonomàsia de refredar qualsevol tipus de beguda o aliment, però té alguns inconvenients.

El primer es la necessitat d'electricitat per poder funcionar, ja que s'ha d'alimentar el compressor per tal de poder produir fred. En segon lloc la no transportabilitat d'aquesta, encara que existeixen frigorífics elèctrics que poden funcionar amb bateries o bé fins i tot amb plaques solars, el seu pes no sol ser negligible.

Un altre factor molt important que resulta un inconvenient important en quant al refrigeri de begudes és la forma en que els frigorífics refreden el que hi ha dintre d'ell. Aquesta extracció de calor es produeix mitjançant el fenomen de convecció de l'aire fred i la beguda on aquest aire està en repòs. Aquest fet esdevé un impediment per disposar d'una beguda fresca de forma ràpida ja que la convecció en aquestes condicions es produeix de forma molt lenta i es pot trigar fins a unes 2 hores a tenir una beguda freda.

Aquesta ineficiència tèrmica resulta un sobre-cost molt alt en termes d'energia elèctrica per aconseguir refredar una sola llauna, ja que suposant que es vol una llauna freda al moment s'haurà d'espera una mitja de dues hores per poder-la beure amb unes condicions de fred acceptables.

També cal dir que quan es diposita la beguda en el frigorífic per poder tenir-la freda en algun moment, que pot ser dintre d'una setmana, el electrodomèstic haurà de mantenir-la freda al llarg d'aquest temps fins que es vulgui consumir.

Així doncs s'haurà de gastar energia fins llavors només per disposar d'una beguda freda quan es vulgui.

### 3.4.2. V-Text [9]

Aquest electrodomèstic anomenat V-Text, és una invenció que té encara un curt període de vida ja que fa relativament poc que ha sortit a la venda, i es podria dir que a vingut per solucionar els problemes de refreda qualsevol tipus de beguda de forma ràpida, ve a ser el “microones del fred”.

Aquest aparell gasta uns  $0,9 \text{ kW/h}$  al llarg del dia mentre que un frigorífic convencional suposa un consum d'uns  $9,9 \text{ kW/h}$ , suposant així un estalvi energètic d'un 90%.

El V-Text basa el seu funcionament amb la creació d'un vòrtex d'aigua que en passa al voltant de la beguda que es vol refredar mitjançant el fenomen de convecció s'extrau la calor d'aquesta. Degut al vòrtex d'alta velocitat creat, que ve a ser un flux turbulent, aquest fluid té més potència que un fluid en repòs, per tant extrau de forma més ràpida la calor que si és diposites la beguda en aigua freda.

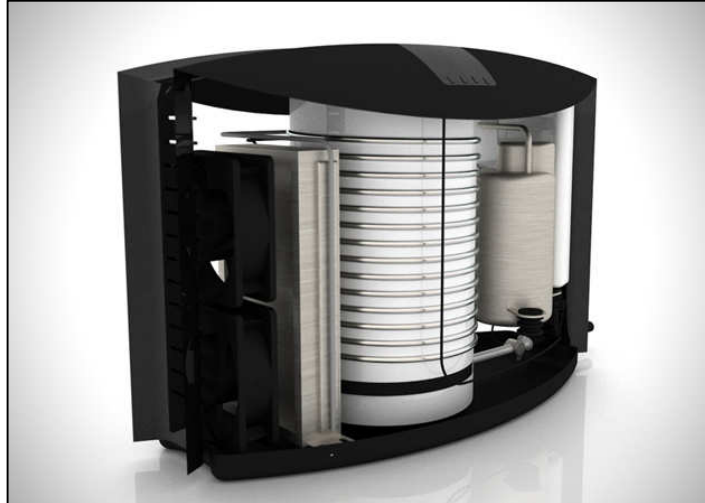


**Figura. 16** V-Text Vortex.

Aquesta solució tecnològica aportada per l'empresa V-Text al problema plantejat anteriorment en la nevera està bastant aconseguida tot i que segueix tenint la dependència de ser endollada i que segueix sent no transportable. Tot i així els temps que triga en refredar els diferents tipus de begudes són molt baixos.

Per una lata estàndard de 330ml triga menys d'un minut aproximadament segons el fabricant uns 30 segons lo qual està molt bé ja que es podria dir que es quasi bé és immediat. Per altra banda també la versatilitat que ofereix per refredar tot tipus de begudes es un factor clau del producte el qual no el limita sols a llaunes, sinó que pot refredar des de botelles de cava, de vi, de cervesa fins a qualsevol format de llauna que es vulgui.

On el màxim temps que triga per refreda el més costos d'aquets recipients que seria la botella de cava és d'uns 5 minuts un temps acceptable si es té en compte que una botella de cava en el frigorífic pot trigar sobre unes 4 hores.



**Figura. 17** V-Tex Vortex inside

S'aprecia que el funcionament per refredar l'aigua és el mateix que un frigorífic convencional, mitjançant un compressor un serpentí i després dos ventiladors per extreure la calor, però en aquest cas molt focalitzat en la funció concreta de refredar l'aigua encarregada d'extraure la calor de les begudes.

Aquest electrodomèstic assegura el seu fabricant que arriba a suposar un estalvi econòmic total vers refredar les begudes d'uns 800€/any que no està gens malament i que ja suposa una amortització directa del producte a més de l'ús que se li fa.

Tot i això planteja alguns dubtes que no han estat resolts pel fabricant com són quina és la seva fiabilitat i durant quants cicles no hi haurà cap tipus de problema tècnic, ja que el procés pel qual es crea el vòrtex de Rankine utilitzat en aquesta màquina és complex i sense aquest no s'obté els resultats esmentats.

Per tant el factor de la fiabilitat i reparabilitat d'aquesta màquina també són uns factors a tenir molt presents a l'hora de realitzar un petit càlcul parlant d'estalvi i de més.

### 3.4.3. AISBER [10]

El producte AISBER es un embolcall que consta de dues cambres, una amb sals i una altra amb aigua, quan es trenca la barrera que existeix a forma de precinte entre aquestes dues es produeix una reacció endotèrmica que s'encarrega de refredar la beguda a la que s'hi fiqui l'embolcall.

Aquesta invenció aporta un valor diferencial respecte les altres dues que s'han vist, ja que en aquest cas no es té dependència en absolut de l'electricitat per la producció de fred ja que es realitza mitjançant una reacció endotèrmica. Aquesta es pot activar quan es desitgi i per tant es pot disposar d'una beguda freda allà on es vulgui quan es vulgui.

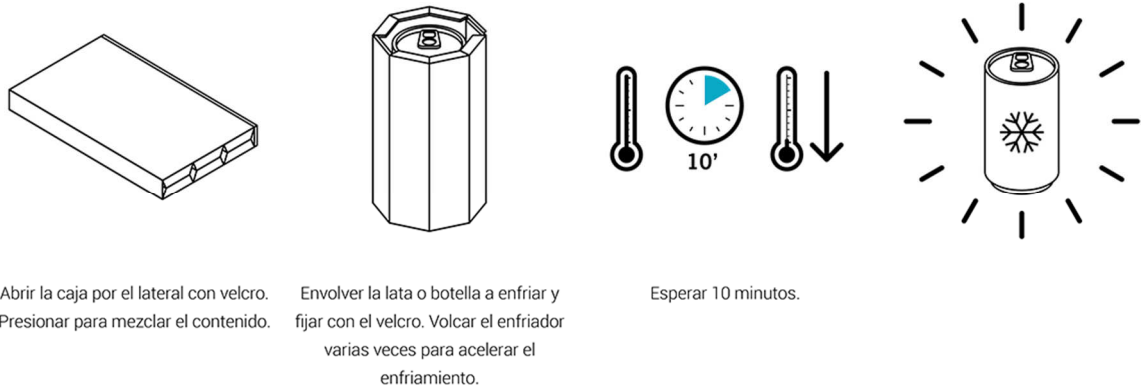


**Figura. 18** AISBER 33 embolcall.

S'aprecia com hi ha dues bosses independent on cadascuna d'elles conté el solut, que segons l'autora de la patent està compost de urea salt endotèrmica extensament coneguda, i amb un altre compartiment el dissolvent.

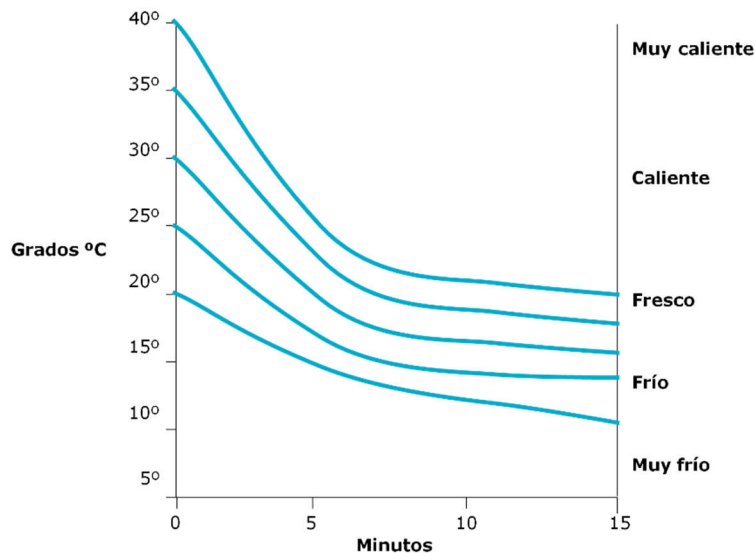
En pressionar sobre aquestes es produeix el trencament del sellat que les separa deixant que el solut i el dissolvent reaccionin i produeixin la reacció endotèrmica.

Un cop es produeix la reacció química s'ha de dipositar la llauna dintre l'embolcall tancar-lo i esperar uns 10 minuts per tal de tenir la beguda freda.



**Figura. 19** AISBER procés de refredament.

El principal inconvenient que se li pot trobar a aquest producte és que triga uns 10 minuts en aconseguir tenir la llauna freda, es pot apreciar en el següent gràfic en funció de la temperatura de partida quina és la temperatura que s'aconsegueix.



**Figura. 20** AISBER  $T (^{\circ}\text{C})$  vs  $t (\text{min})$ .

Aquesta temperatura es inferior a la que s'aconseguia amb les altres alternatives però aquest embolcall ofereix la portabilitat i la no dependència de la electricitat que no ofereixen els altres.

També té una avantatge respecte els altres ja que segons la seva autora aquest embolcall també serveix per mantenir aquesta temperatura uns 30 minuts que es considera és el període estàndard per prendre una beguda.

## 4. Materials i Mètode

El punt següent tracta de quin ha estat el procés d'experimentació per la valoració de les diferents reaccions endotèrmiques i quines han estat aquestes. També s'explicarà el material del laboratori utilitzat per la realització d'aquets assajos i en el cas de requerir de material o sensors específics que s'hagin hagut de fabricar s'explicarà com ha estat el procediment per fer-ho i quins han estat els criteris a l'hora de fer-ho.

Es posarà també especial èmfasi en els materials aïllants que s'han utilitzat en els diferents processos per tal d'intentar mantenir la reacció aïllada tèrmicament de la forma més eficient possible, per tenir unes mateixes condicions en totes les experimentacions de forma que aquestes siguin comparables.

### 4.1. Estris de laboratori

Sobre els diferents estris que s'utilitzen en el laboratori en l'experimentació que es vol realitzar en primer lloc es necessita d'una proveta d'assaig que sigui un bon aïllant tèrmic.

Aquest vas de precipitats quasi bé adiabàtic ve a ser un got de poliestirè expandit que té la possibilitat de tapar-se per tal de poder agitar la reacció i que manté de forma bastant estable la temperatura de la reacció interior amb un temps considerable.



**Figura. 21** Vas de poliestirè expandit.

El poliestirè expandit es un dels millors aïllants que existeixen, té un cost molt baix i la seva utilització és freqüent en tot tipus d'envasos tèrmics. Aquest material té major o menor poder d'aïllament en funció de la mida de les esferes de poliestirè expandit que componen l'estructura del vas, com menors són aquestes major és el poder d'aïllament.



Per tal de poder mesurar les diferents concentracions de solut que es volen dipositar en la reacció s'ha d'utilitzar un aparell de mesura que ofereixi la possibilitat de mesurar aquesta massa dels diferents elements amb la suficient precisió.

Aquesta precisió s'ha estimat que és suficient que sigui de  $0,01g$  ja que no per l'aplicació que es realitza de les sals utilitzades per sota de les dècimes de gram no sofreix una variació de temperatura apreciable per els sensors de temperatura utilitzats.



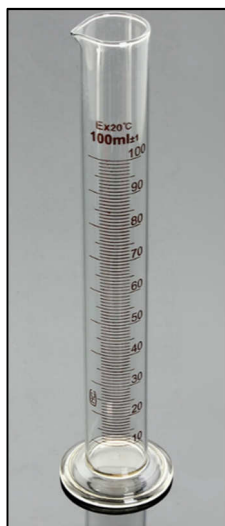
**Figura. 22** Balança precisió 0,1g.

Per tal de transportar del pot on està contingut l'element químic a la balança amb petites quantitats fins aconseguir la massa desitjada s'utilitza un instrument anomenat cullereta de forma col·loquial.



**Figura. 23** Cullereta

Per tal de mesurar les diferents quantitats de dissolvent que es diposita en el vas de poliestirè expandit s'ha d'utilitzar un element de mesura conegut com proveta que serveix per mesurar quantitats de fluid. La precisió d'aquesta és  $1 ml$  i al igual que en la balança aquesta quantitat de dissolvent no es rellevant per l'estudi que es realitza.



**Figura. 24** Proveta de 100ml  $\pm 1$ ml

Per tal de mesurar la temperatura s'ha utilitzat un sensor de temperatura que consta d'una pantalla digital que permet veure la temperatura que s'està mesurant al moment, aquest sensor té una precisió de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , i una resolució de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .



**Figura. 25** Termòmetre  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

## 4.2. Sonda de temperatura

Es requereix en l'experimentació de la possibilitat de realitzar un registre de l'evolució de la temperatura en funció del temps per tal de poder comparar diferents evolucions en funció de la reacció que es produeix i també tenir una comparativa més fidedigna.

Per poder realitzar aquest registre de temperatures al llarg el temps s'ha hagut de fabricar un sensor de temperatura que fora submergible i que estigues connectat a un ordinador per enregistrar els diferents valors.

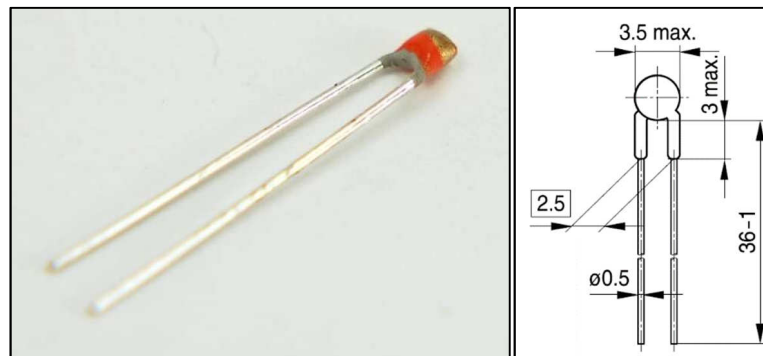
Per crear aquest sensor s'ha utilitzat la pràctica realitzada en l'assignatura *Ampliació d'Electrònica* del Màster d'Enginyeria Industrial que l'autor d'aquest projecte ha cursat.

### 4.2.1. Hardware

Per tal de realitzar el muntatge d'aquest sensor es requereix d'uns certs elements de hardware que s'explicarà seguidament.

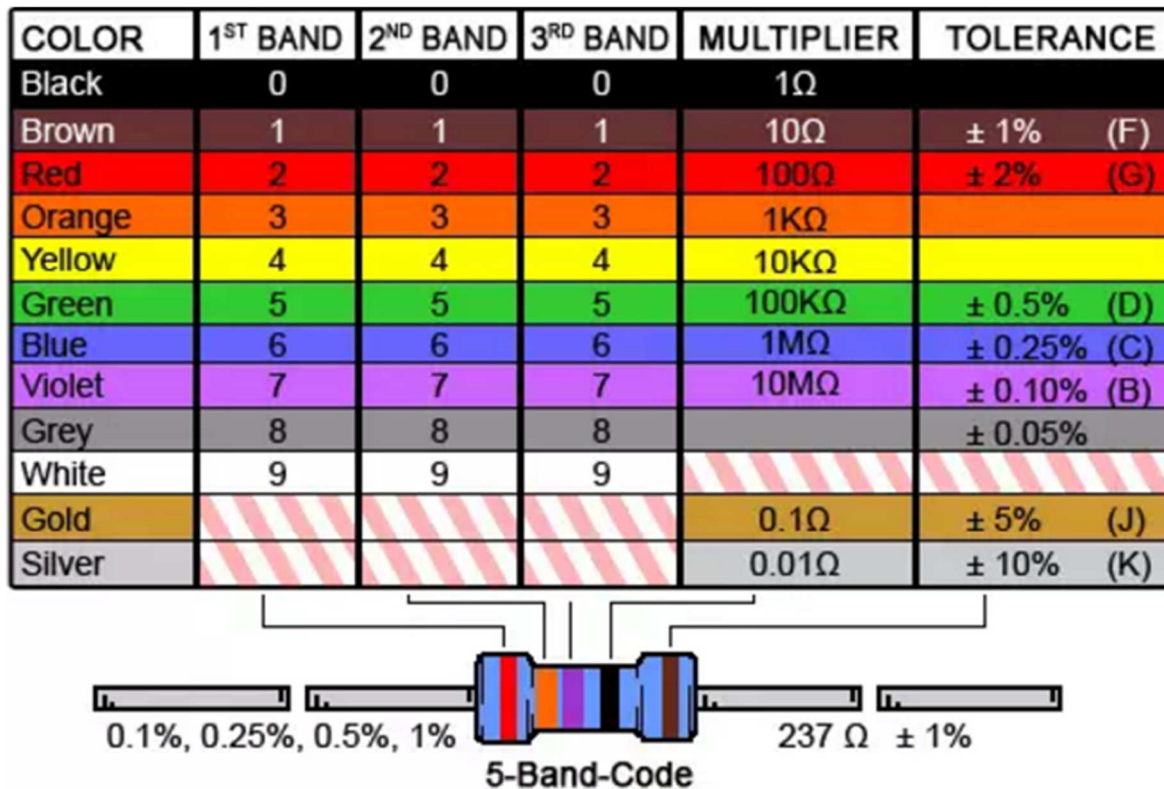
En primer lloc és té l'element encarregat de fer de transductor, es a dir convertir una temperatura en una diferència de voltatge, aquest element és el sensor de temperatura. S'ha utilitzat un sensor *NTC33K*, aquest sensor és un dels mes comuns a l'hora de crear una sonda de temperatura ja que té un baix cost i els seu funcionament és bastant bo per aplicacions que no requereixen d'una gran precisió.

Aquest sensor es del tipus termoparell, que consta de la unió de dos metalls diferents que produeixen una diferencial de potencial molt petita en funció de la diferència de temperatura entre un dels extrems anomenat punt calent i l'altre anomenat punt fred. Existeixen diferents tipus de sensors termoparells en funció dels tipus de metalls de que consten, en funció dels diferents metalls que el formen tenen una precisió major o menor.



**Figura. 26** NTC33K (mm).

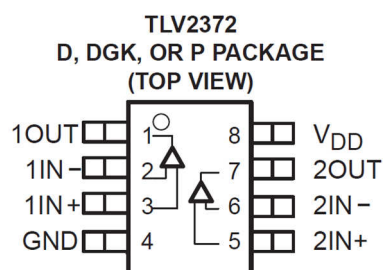
També es requereixen diferents resistències les quals han estat calculades per aconseguir un règim de treball desitjat les quals són de 15, 13.3, 14, 28 i 33.2  $\Omega$ . Aquestes resistències s'han escollit d'una precisió d'un 1%.



**Figura. 27** Llegenda de toleràncies d'una resistència

Degut al poc voltatge que es té de sortida en el sensor s'han d'utilitzar amplificadors per tal d'amplificar aquest senyal i obtenir una resposta clara que pugui ser interpretada pel dispositiu d'adquisició.

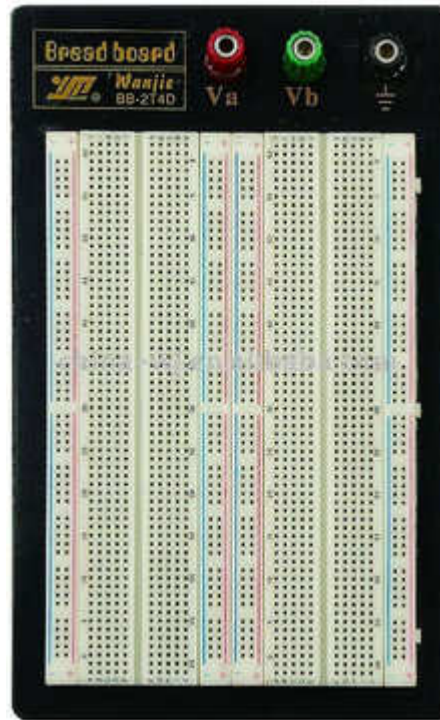
Aquest amplificador escollit és TLV2372, que conté dos operacionals per tal de amplificar la senyal que s'obté del sensor.



**Figura. 28** TLV2372 TOP VIEW.

Posteriorment es mostrarà quin és l'esquema electrònic que s'ha realitzat pel muntatge del sensor servint-se d'aquest operacional i també de les diferents resistències.

Per tal de poder connectar tots aquests elements és pot realitzar mitjançant soldadura o bé fer-ho utilitzant una eina anomenada **proto-board** la qual permet connectar i desconectar diferents esquemes elèctrics sense la necessitat d'haver de soldar els elements.



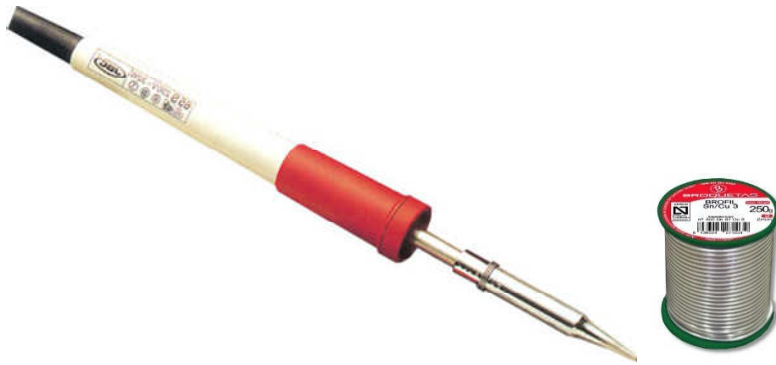
**Figura. 29** Protoboard

S'ha utilitzat un model com el mostrat anteriorment que permet realitzar connexions entre elements de forma fàcil sense necessitat de que aquestes connexions siguin definitives i oferint la possibilitat de modificar aquestes de forma senzilla.

Per tal de realitzar totes les connexions s'ha utilitzats cable de coure sense cap tipus d'especificació especial simplement cable unifilar que s'ha tallat en diferents longituds per realitzar les connexions.

Tot i disposar de la Protoboard el sensor NTC33K ha de tenir un cable de connexió bastant llarg per poder tenir la placa aïllada de la zona d'experimentació, així doncs s'ha agut de soldar el sensor i aquest cable de connexió a la placa.

Els elements utilitzats per realitzar aquesta soldadura són estany de 2mm Sn/Cu 3 i un soldador d'estany de la marca JBC de punta fina.



**Figura. 30** Soldador JBC i estany

Per tal de poder fer el sensor submergible en l'aigua i que no hi hagi cap curtcircuit entre els cables degut a que entrin amb contacte amb l'aigua que és conductora de l'electricitat, s'ha utilitzat un cable termoretràtil per tal de cobrir el sensor i aïllar els cables.

Aquest termoretràtil funciona de la següent forma, es posa el sensor dintre i després es calenta mitjançant un encenedor i be un assecador del cabell qualsevol per tal d'aportar calor, un cop rep aquesta calor el cable s'encongeix segellant el sensor i els cables.



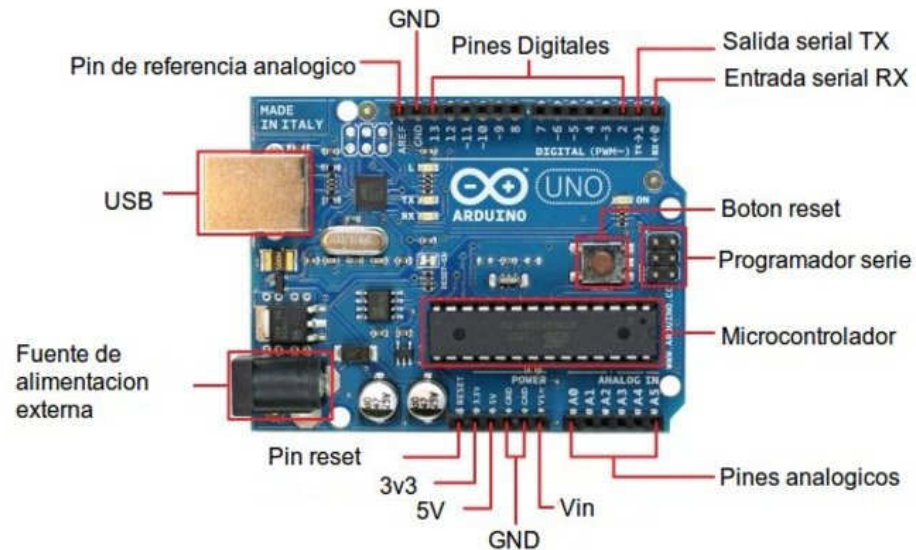
**Figura. 31** Termoretràtil

El termoretràtil en la imatge anterior seria el tros de plàstic negre que s'aprecia i es pot comprovar que s'adapta a qualsevol forma que tingui el cable cobrint aquesta connexió de qualsevol interferència.

Un cop es tenen tots els components necessaris per realitzar el muntatge del circuit electrònic falta per últim determinar com s'alimentarà aquesta placa i de quina forma s'adquiriran les dades que el sensor mesuri.

Es realitzarà mitjançant l'eina anomenada *Arduino*, aquesta empresa facilita tot tipus de plaques que consten de diferents ports analògics i digitals, la possibilitat de connectar-ho via USB o bé amb un transformador a la corrent de 230V per alimentar la placa.

El model de placa utilitzat és el *Arduino UNO* aquesta placa ofereixen diferents entrades analògiques que es poden alimentar mitjançant USB a 0-5V . Aquesta placa connectada al ordinador ofereix la possibilitat de mitjançant un software lliure de la pròpia empresa programar diferents programes i carregar-los en aquesta per executar-los.



**Figura. 32** Arduino UNO.

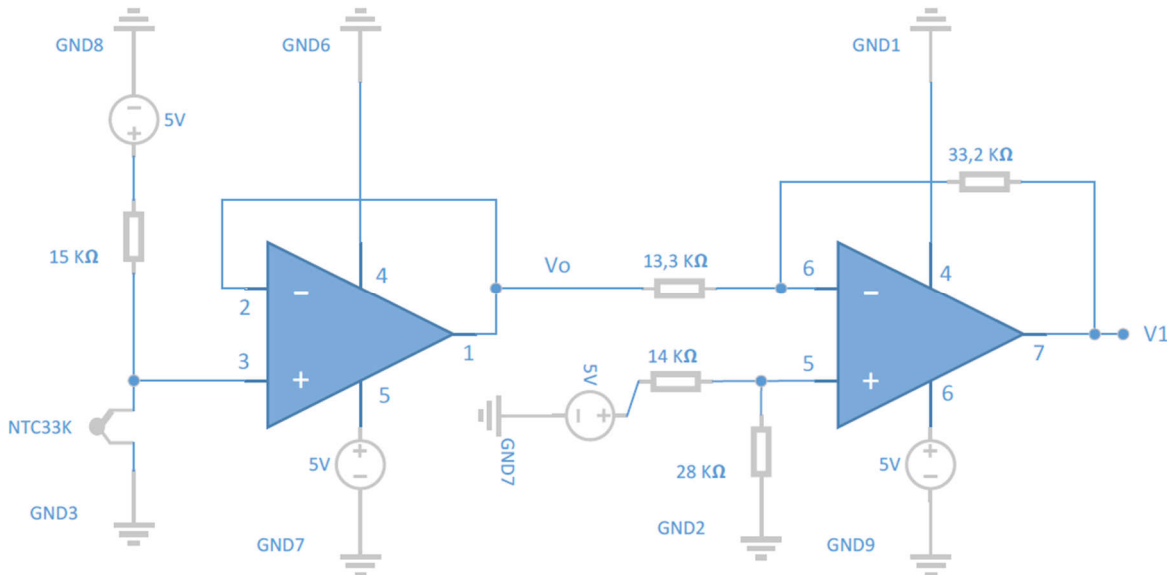
Amb aquesta placa es realitzarà l'adquisició de temperatures en funció del temps per crear un registre que posteriorment serà tractat mitjançant l'eina Excel per tal de representar els diferents resultats i valorar quina és la seva evolució.

Posteriorment en l'apartat de calibratge s'explicarà quin ha estat el programa que s'ha realitzat per tal de poder mesurar la temperatura i mostrar-la per pantalla en el ordinador al que està connectada la placa.



#### 4.2.2. Disseny del circuit electrònic

En primer lloc es mostrarà quin ha estat el disseny utilitzat per tal d'amplificar el senyal i també aconseguir el rang de treball en l'interval de temperatures que es desitja.



**Figura. 33** Circuit electrònic.

Els números que hi ha als dos amplificadors estan referenciats als del encapsulat *TLV2372* explicat anteriorment.

La primera resistència de 15k s'ha imposat ja que no suposa cap implicació en el rang de temperatures que pot mesurar el sensor tenint en compte l'alimentació de que es disposa. El primer amplificador la funció que realitza es aïllar la tensió de l'entrada del sensor amb la que entra a la placa Vo per evitar possibles curtcircuits.

Les altres resistències de 14 i 28 k s'han imposat també ja que són resistències d'un valor comú en aquestes aplicacions i seran una bona base per realitzar el càlcul de les altres dos.

Per calcular el valor de les resistències de 13,3 i 33,2 k el que s'ha fet ha estat en primer lloc veure quin és el rang de temperatures que es vol treballar per obtenir el valor de la resistència del sensor NTC33K a aquestes temperatures. Aquest rang de temperatures escollit és de -5 a 40 °C, ja que es considera que les diferents experimentacions que es poden realitzar aquest interval de temperatures és suficient per registrar tots els possibles valors.



S'observa en el Datasheet del sensor que els seus valors de resistivitat per aquestes dues temperatures són:

TEMPERATURA (°C)	RESISTÈNCIA NTC33K (KΩ)
-5	156,7
40	16,5

**Taula. 5**  $T(R(k\Omega))^{\circ C}$  NTC33K.

Si es calcula doncs els valors de voltatge  $V_0$  que s'obté per aquets dos valors de resistència per una alimentació de 5V es té:

$$V_0^{-5} = \frac{5 \cdot R_{NTC33K}}{R_1 + R_{NTC33K}} = \frac{5 \cdot 156,7}{15 + 156,7} = 4,60V$$

(Eq. 48)

$$V_0^{40} = \frac{5 \cdot R_{NTC33K}}{R_1 + R_{NTC33K}} = \frac{5 \cdot 16,5}{15 + 16,5} = 2,62V$$

(Eq. 49)

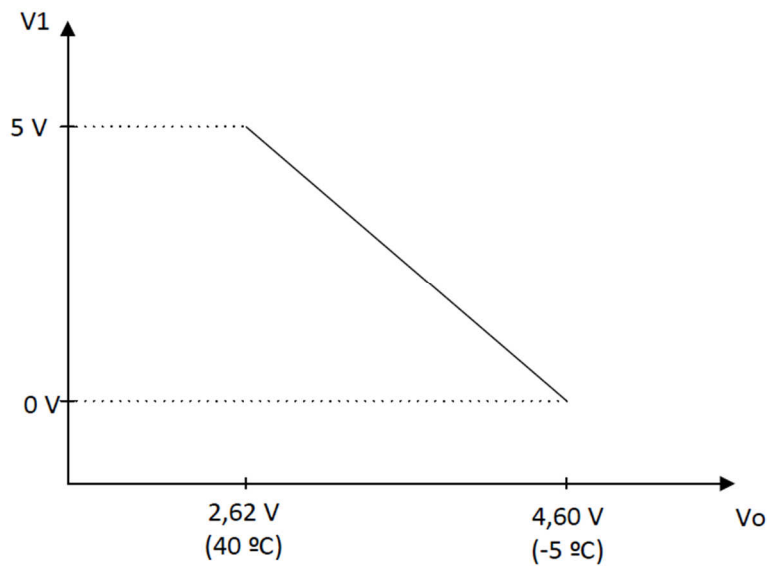
Per tant el rang de voltatge que s'obtindrà entre aquestes temperatures serà aproximadament d'uns dos volts.

Per tal de determinar quines han de ser les resistències que s'han d'utilitzar per poder treballar dintre el rang de voltatge de 0 a 5V que pot operar la placa amb que es treballa, el que es fa es realitzar en primer lloc quina és la recta que és vol moure's.

$$V_1 = \frac{5 \cdot R_{28}}{R_{14} + R_{28}} + \left( \frac{5 \cdot R_{28}}{R_{14} + R_{28}} - V_0 \right) \frac{R_{33,2}}{R_{13,3}}$$

(Eq. 50)

Aquesta és l'equació que descriu la recta de treball, suposant que tenim comportament lineal fet que no és del tot cert però és una bona aproximació. Aquesta recta però només té sentit entre els valors que s'han esmentat anteriorment, per tant la seva representació seria la que es representa en la figura 34.



**Figura. 34** Gràfic Vo vs V1

Per tant segons la gràfica anterior es pot trobar que l'equació de la recta seria:

$$V_1 = \frac{0 - 5}{4,6 - 2,62} V_0 + \left( 5 - \left( \frac{0 - 5}{4,6 - 2,62} \right) 2,62 \right) = -2,52 \cdot V_0 + 11,60 [V]$$

(Eq. 60)

Si es compara les equacions (Eq. 59) i (Eq. 60) es dedueix que:

$$\frac{5 \cdot R_{28}}{R_{14} + R_{28}} + \left( 1 + \frac{R_{33,2}}{R_{13,3}} \right) = 11,60$$

(Eq. 61)

$$\frac{R_{33,2}}{R_{13,3}} = 2,52$$

(Eq. 62)

D'aquestes dues equacions anteriors s'obté que els dos valors de les resistències han de ser els esmentats anteriorment de 33,2 i 13,3 kΩ.

### 4.2.3. Calibratge del sensor

Un cop s'han realitzat tots els càlculs pertinents per poder realitzar el disseny final del circuit electrònic es procedeix a realitzar el muntatge i posterior calibratge del sensor.



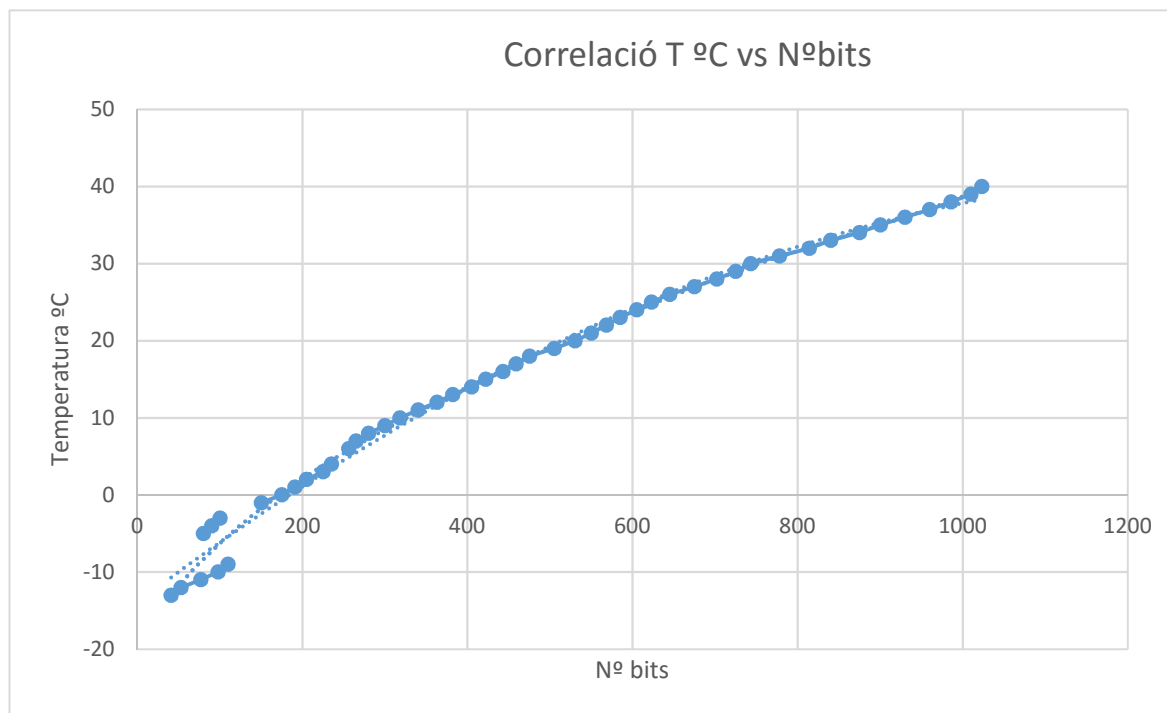
*Figura. 35 Calibratge sensor.*

Com s'aprecia en la figura 35 el que s'ha fet ha estat agafar una botella d'aigua en sal posar-la al congelador a  $-10^{\circ}\text{C}$  i degut al seu contingut en sal no arriba a congelar-se i es té un fluid sota zero el qual es el que es vol per poder ficar-hi el sensor que es vol calibrar juntament amb el sensor de referència.

Un cop s'arriba a la temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  el sensor comença a donar valors per sota de 1024 bits que és la resolució analògica que ofereix la placa **Arduino UNO** amb que es treballa. S'anoten els diferents valors analògics conjuntament amb els valors de temperatura que dóna el sensor de referència en el mateix instant de temps.

Per assegurar que els dos sensors estan captant la mateixa temperatura el que s'ha fet és ajuntar-los amb celo a la punta per que estiguin mesurant en el mateix punt. Per tal d'apujar la temperatura es fa mitjançant un bany maria com s'aprecia en la figura 35, ja que a sota l'olla en que s'ha dipositat la botella hi ha un foc que fa que la temperatura vagi creixent de mica en mica.

La llista de valors que s'obté es representa en un gràfic i d'aquest es realitza un ajust per mínims quadrats per tal d'obtenir la correlació que hi ha entre l'entrada i la sortida de forma que quan s'obtingui un valor analògic es pugui transformar a un valor de temperatura.



**Figura. 36** Gràfic  $T(^{\circ}\text{C})$  vs  $N^{\circ}\text{bits}$ .

L'equació que es genera és d'ordre dos per tal d'obtenir un coeficient de correlació de 0,99 que ja es considera suficientment bo, aquesta és:

$$y = -3 \cdot 10^{-05}x^2 + 0,0812x - 13,1$$

(Eq. 63)

Mitjançant aquesta equació es podrà realitzar un programa que es carregarà a la placa i s'encarregarà de transformar els valors analògics que van de 0 a 1024 en valors de temperatura, on aquets estaran compresos entre -5 i 40 °C degut al càlcul que s'ha realitzat prèviament en el disseny del circuit per tal d'acotar el rang de treball del sensor.

En aquest programa es llegeix del port analògic pertinent quin és el valor de tensió que està rebent mitjançant el conversor de que disposa la placa es transforma amb un valor de 0 a 1024 bits i un cop es té aquest valor ja es pot introduir dintre l'equació anterior i s'obté de forma directa quina temperatura es té en aquell moment.

Seguidament es mostra el programa que s'ha realitzat per realitzar les accions anteriorment comentades.

```
// Script para llegir temperatura amb un sensor NTC33K
#include <math.h> // S'afegeix la llibreria matemàtica
// Declaració de variables

float lectura;
double T;

int tempPin = 0; // Definim la entrada en pin A0
void setup()
{
    // Obre el port i el configura a 9600 bps
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    // Llegeix el valor de voltatge desde el sensor
    lectura = analogRead(tempPin);
    T=-3e-5*(pow(lectura,2))+0.0812*lectura-13.1; |

    Serial.print(T);
    Serial.print("\n ");
    // Espera una dècima de segon per repetir el loop
    delay(100);
}
```

**Figura. 37** Codi per llegir la temperatura amb un sensor NTC33k.

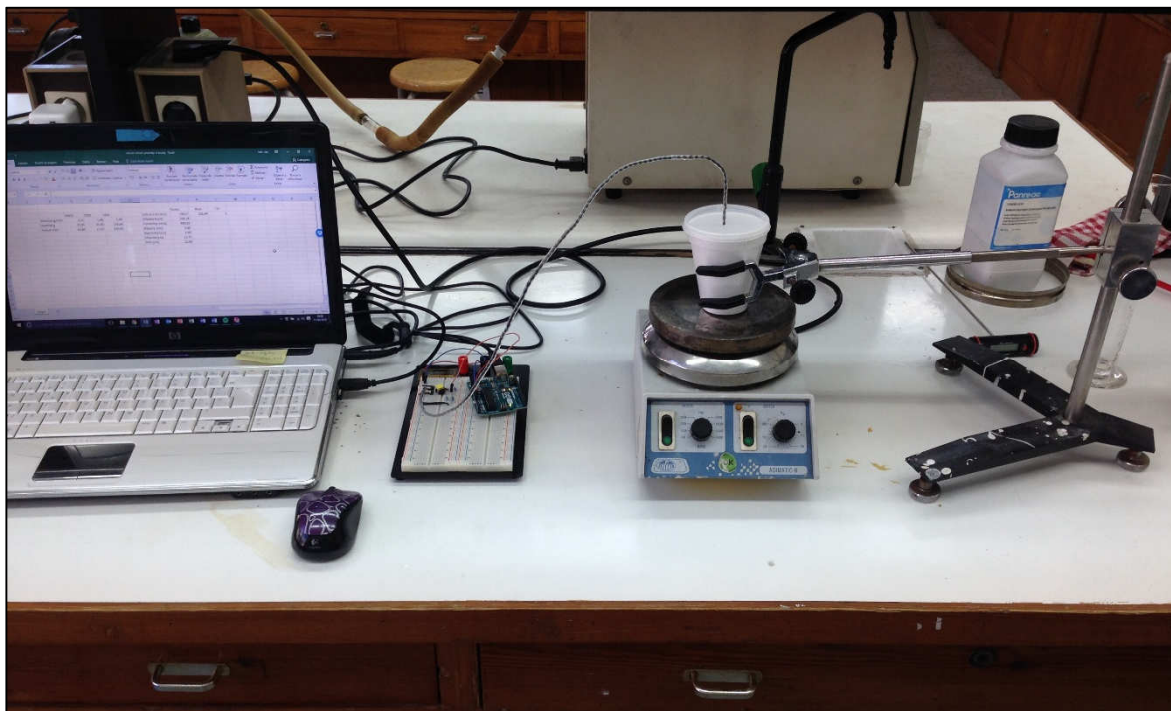
Els valors de temperatura que es capten es visualitzen en pantalla mitjançant el programa *R232 Data Logger* que també s'encarrega d'enregistrar els valors en un document .txt per després ser tractats mitjançant l'eina *Excel*.

## 5. Resultats i Discussió

Un cop realitzat tot el procés de calibratge i de més es pot realitzar l'assaig de les diferents sals per veure mitjançant la representació gràfica quina és la seva cinètica de refredament. Aquestes gràfiques de l'evolució de la temperatura respecte del temps es realitzen tenint en compte les mateixes condicions entre els diferents assajos per tal de poder ser comparats de forma fidedigna.

En aquest assaig bàsicament s'han considerat tres sals la urea, el nitrat de potassi i per últim el carbonat de sodi decahidrat, aquestes tres sals s'assajaran soles i combinades entre elles per veure quina és la seva capacitat de refredar. Aquests assajos es realitzaran en el vas de porex que s'ha explicat anteriorment.

Per tal de realitzar l'agitació de la dissolució s'utilitzarà un agitador magnètic a unes revolucions comuns per tots els assajos ja que en la cinètica de dissolució és molt important en la temperatura final que es pot arribar a aconseguir.



**Figura. 38** Assaig controlat de les diferents dissolucions.

Les tres sals que s'han utilitzat en aquests assajos han estat escollides després d'un procés de recerca de sals que ha consistit en trobar diferents sals que en dissoldre's produeixen una reacció endotèrmica i també que siguin casi bé innòcues.

En primer lloc es mostren les tres primeres gràfiques que s'han obtingut per les tres sals soles amb una agitació de 500rpm.

S'utilitza una nomenclatura per tal de descriure de forma ràpida quins productes s'han utilitzat en els diferents experiments.

PXY-ADZ-NRPM

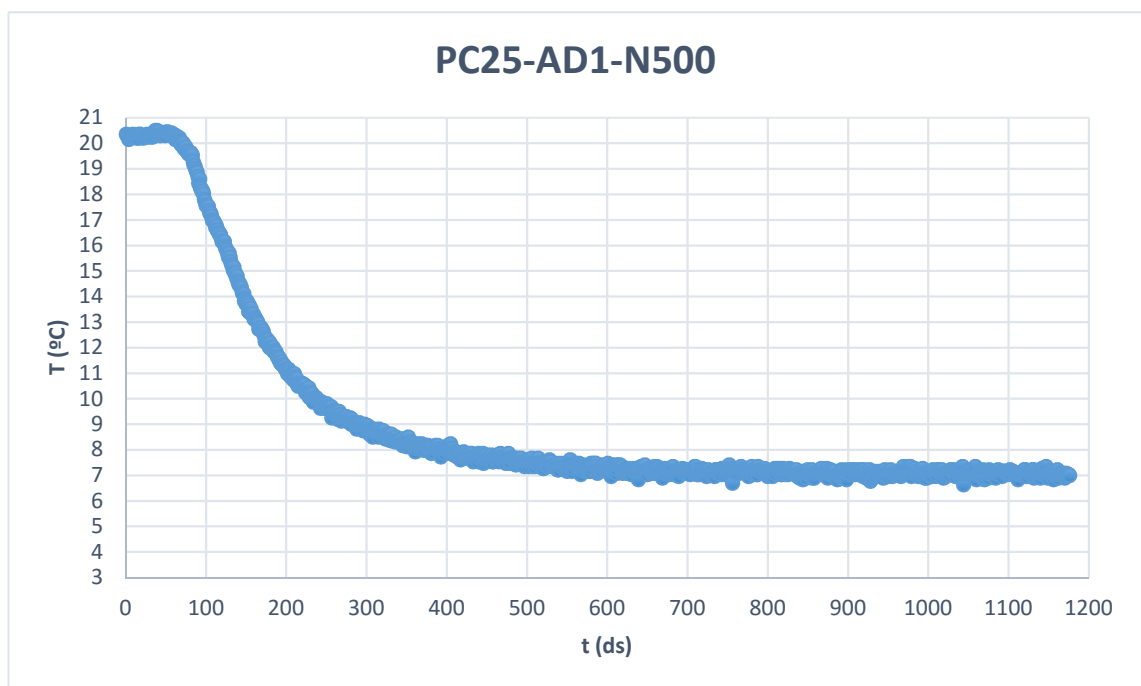
X= Producte utilitzat (U=urea, C=carbonat sòdic decahidrat i K=nitrat de potassi)

Y= Nombre de grams de l'element X

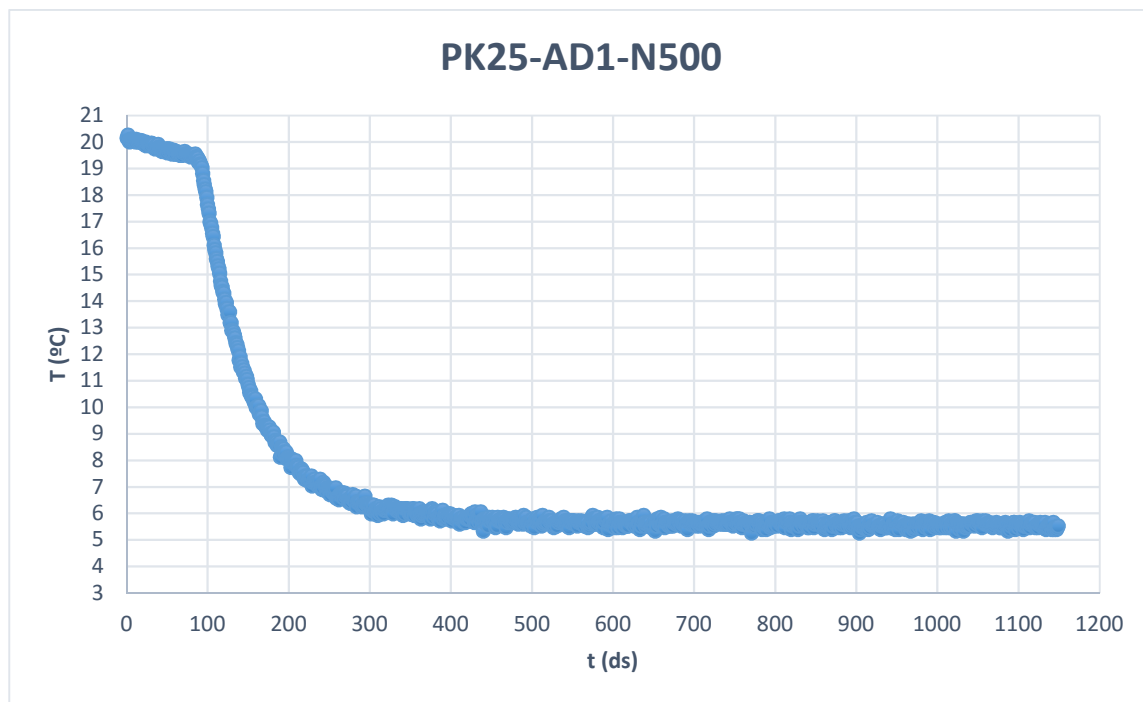
ADZ= Aigua destil·lada amb un tant per 1 de Z

Nºrpm= nombre de revolucions a les que s'ha realitzat la prova

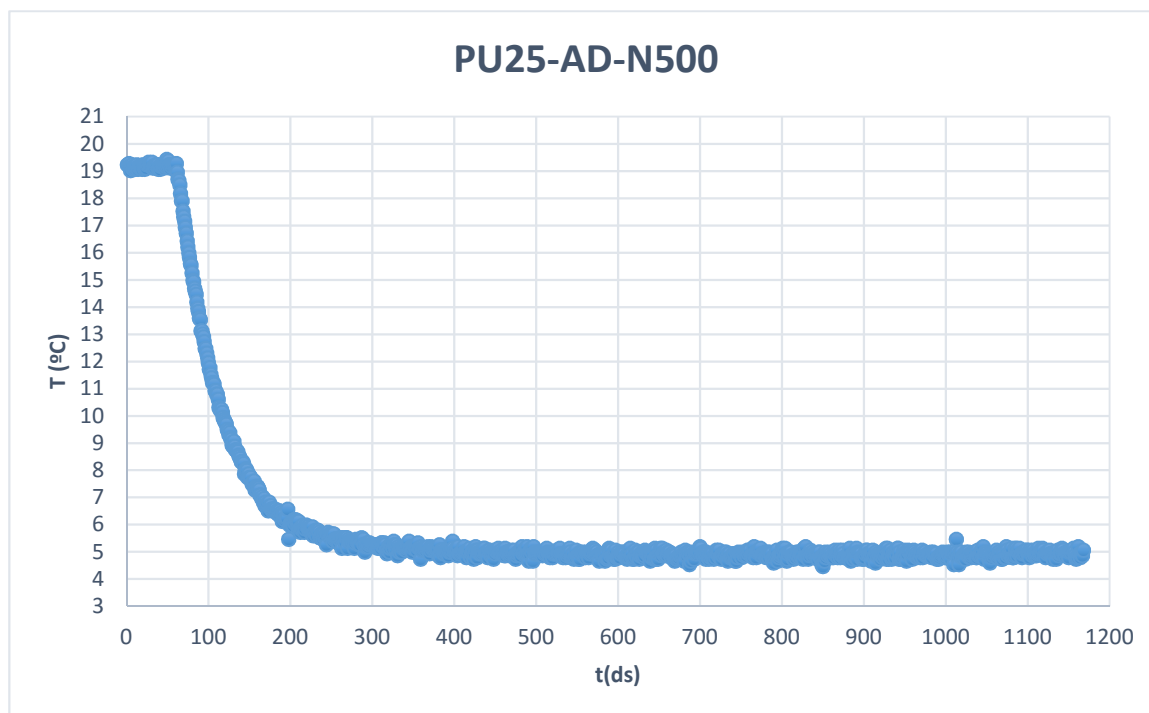
Explicada la nomenclatura utilitzada en les proves es procedeix a mostrar les tres gràfiques obtingudes per cadascun dels elements. Cal dir però que l'escala temporal de l'eix horitzontal està amb dècimes de segons, ja que són les unitats amb les que s'adquireixen les dades.



**Figura. 39** PC25-AD1-N500.



**Figura. 40** PK25-AD1-N500.



**Figura. 41** PU25-AD-N500.



S'aprecia en el primer gràfic **PC25-AD1-N500** que la cinètica de la reacció té un procés de refredament des de 20°C fins a 7°C amb un temps estimat d'uns 50s, després d'aquest temps la temperatura es manté estable. Passat un temps suficient la temperatura de la reacció comença a augmentar fins l'equilibri termodinàmic degut a la transmissió de calor que existeix amb el medi ambient.

En el segon gràfic **PK25-AD1-N500** té un procés de refredament des de 20°C fins a 6°C amb un temps estimat d'uns 30s, el qual és menor al temps del primer cas realitzat i a més s'aconsegueix un major salt de temperatura que en el primer cas.

En l'últim gràfic **PU25-AD-N500** es pot observar com la temperatura passa de 20°C fins uns 5°C amb un temps estimat de 25s. El decrement de temperatura en aquest cas doncs és de 15°C, així doncs es el que major salt de temperatura aconsegueix i a més amb una menor temps.

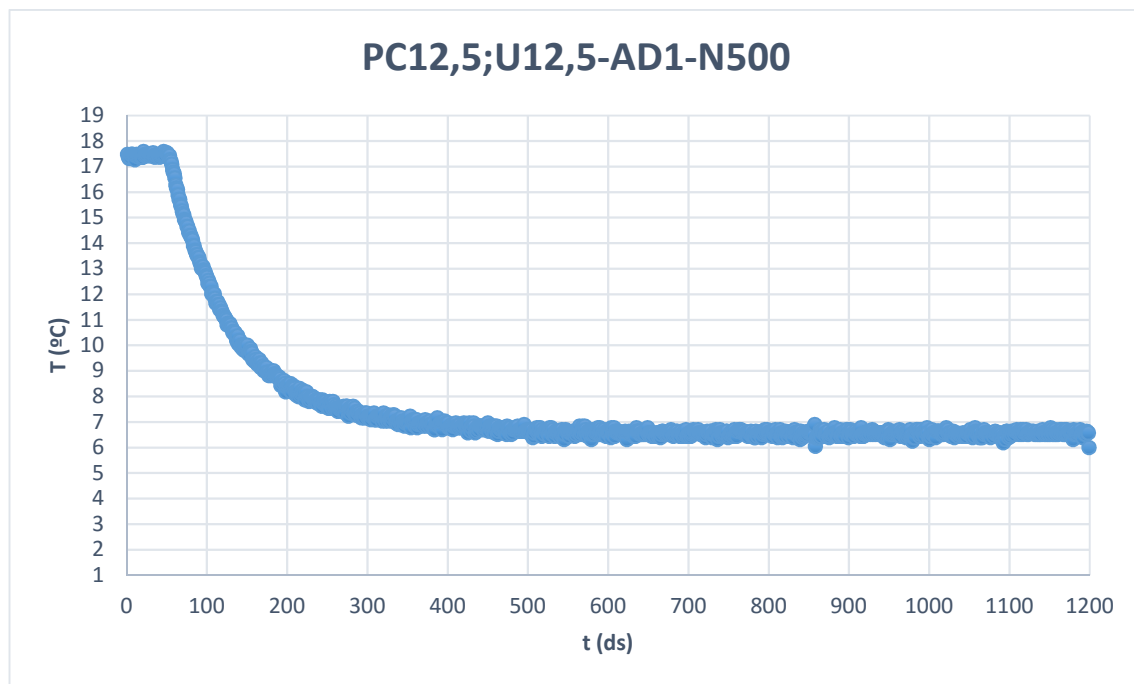
A continuació es mostra una taula resum per tal de sintetitzar les dades recollides i que sigui més fàcil veure els resultats obtinguts quins són.

<i>Producte químic</i>	<i>Salt tèrmic <math>\Delta^{\circ}C</math></i>	<i>Temps salt tèrmic <math>\Delta s</math></i>
<b>PC25-AD1-N500</b>	13	50
<b>PK25-AD1-N500</b>	14	30
<b>PU25-AD-N500</b>	15	25

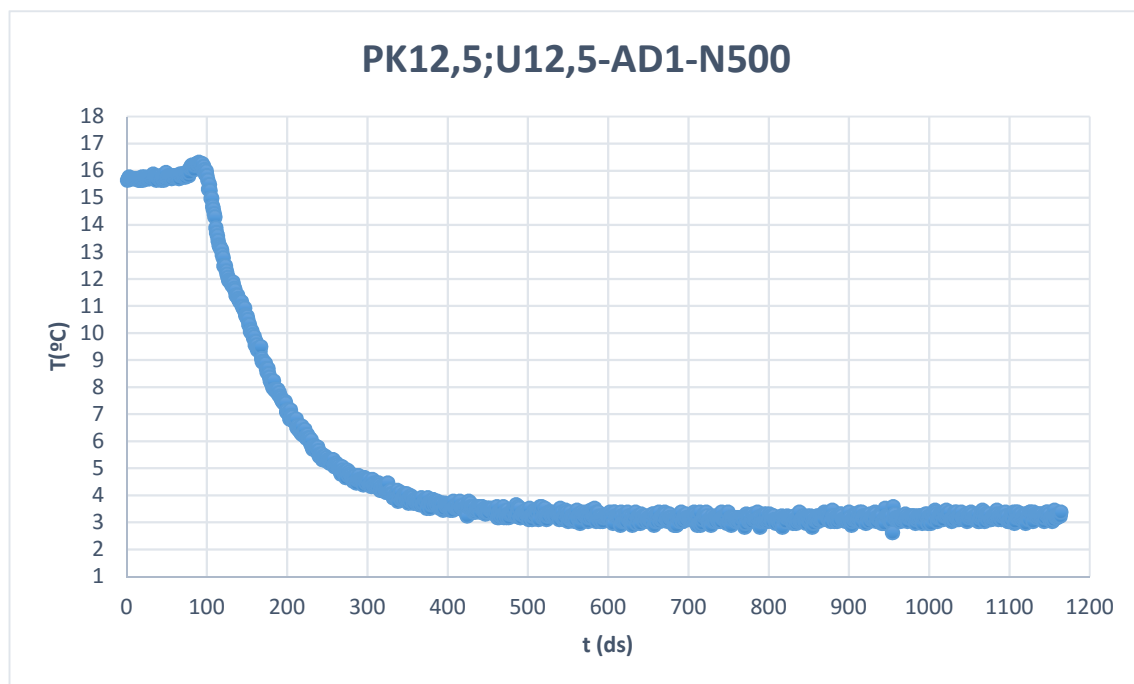
**Taula. 6** Resum gràfics cinètica de refredament.

Un cop realitzada l'experimentació dels tres elements seleccionats és pretén veure quina és la seva capacitat quan es mesclen entre ells ja que hi ha efectes que es poden produir que poden beneficiar en augmentar la solubilitat dels elements i per tant augmentar el salt tèrmic.

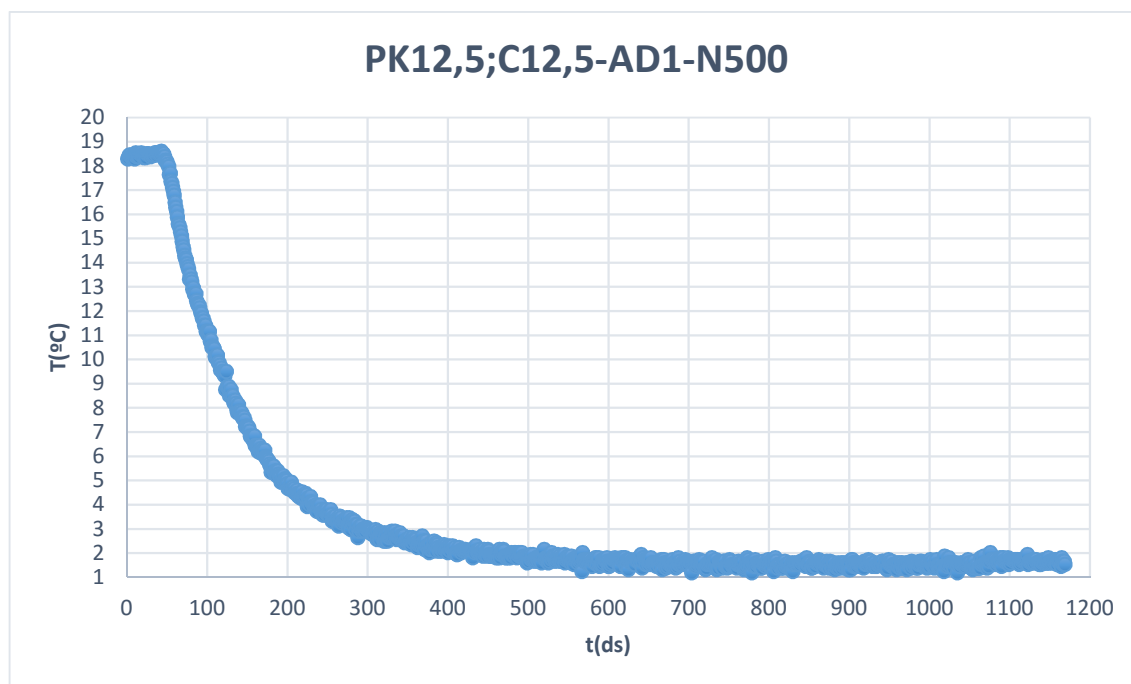
Així doncs per tal de comprovar la interacció que hi ha entre ells i que sigui comparable amb les anteriors experimentacions s'utilitzen amb mescles dos a dos la meitat del producte utilitzat en el cas anterior, així doncs es té 12,5g de cada producte. D'aquesta forma el total de fred produït podrà ser comparat amb els resultats anteriorment obtinguts.



**Figura. 42** PC12,5;U12,5-AD1-N500.



**Figura. 43** PK12,5;U12,5-AD1-N500.



**Figura. 44** PK12,5;C12,5-AD1-N500.

Per tal de possibilitar un anàlisi més fàcil, es realitzarà una taula resum on és pugui veure de forma ràpida quins han estat els resultats que obtinguts i comparar-los amb els anteriorment s'han mostrat.

<i>Producte químic</i>	<i>Salt tèrmic <math>\Delta^{\circ}C</math></i>	<i>Temps salt tèrmic <math>\Delta s</math></i>
<b>PC25-AD1-N500</b>	13	50
<b>PK25-AD1-N500</b>	14	30
<b>PU25-AD-N500</b>	15	25
<b>PC12,5; U12,5-AD1-N500</b>	11,5	30
<b>PK12,5; U12,5-AD1-N500</b>	14	35
<b>PK12,5; C12,5-AD1-N500</b>	18	35

**Taula. 7** Comparativa mesclades amb elements sols.

S'aprecia de forma ràpida que sols hi ha un cas que la mescla doni un resultat millor en quan al salt tèrmic que en el cas de tenir la mateixa quantitat de producte d'un dels dos elements que es compon la mescla.

Així doncs s'aprecia un efecte curiós que resulta un clar potenciador de la reacció endotèrmica en quan a generació de fred, també s'ha pogut observar en experimentacions que aquest efecte suposa un augment de la solubilitat dels dos elements.

La dissolució tant del nitrat de potassi o bé el carbonat sòdic decahidrat en aigua destil·lada a una temperatura ambient de 25°C és 30g/100ml, per tant s'espera que si és diposita 30g de cada element formant un total de 60g en 100ml la meitat de producte hauria de col·lapsar, però no és així. L'efecte creat per la mescla d'aquest dos productes causa que la solubilitat en aigua sigui independent a que ja s'hagi dissolt un dels elements prèviament.

En posteriors experimentacions s'ha pogut observar que realitzant una mescla de 25g de cada producte en 100ml s'arriba a tenir un salt tèrmic de 25°C des de uns 23°C fins uns -2°C. On degut a la dissolució de les sals en l'aigua la temperatura de congelació d'aquesta disminueix considerablement i per tant està molt per sota dels 0°C.

Per tal de aconseguir que el PH de la reacció sigui neutre s'ha utilitzat en ultima instancia 6g de bicarbonat de sodi que realitza un efecte tampó on finalment s'acaba tenint un pH de 7,8.

Explicació química del fenomen de la sinergia energètica al mesclar les sals de  $\text{KNO}_3$  i  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Davant del fet que la mescla de nitrat de potassi i carbonat de sodi es comporti en el seu procés de dissolució amb una força de refrigeració superior a les sals individualment, s'ha decidit recercar si existia alguna teoria termodinàmica que expliqui aquest fet.

Em primer lloc s'ha de considerar que les dissolucions d'electròlits no son sistemes ideals i les moltíssimes interaccions químiques i elèctriques poden influenciar l'entalpia de dissolució, ja sigui de forma positiva com negativa [11].

El fet important de que les dissolucions de sals no es comportin seguint la termodinàmica ideal ha dirigit a investigadors de la termodinàmica clàssica a buscar alguna explicació a aquests fenòmens.

Tal es el cas, per exemple de la teoria Debye-Huckel [12] o de Bjerrum [13]. Aquests científics clàssics tenen teories que són la base de l'estudi de les dissolucions d'electrolits i altres autors més moderns s'han basat en ells per explicar fenòmens, altrament sorprenents, com és el de tenir un calor de dissolució més endotèrmic amb una mescla de sals, que amb les sals individualment; es a dir, la suma de les entalpies no és el resultat experimental.

D'entre les diverses teories ens ha agradat especialment la del Professor Kenneth Pitzer [14]. En un article de l'any 1986 [15] explica sobre una base termodinàmica com canvien les entalpies de dissolució amb mescles d'electròlits.

Pitzer desenvolupa una equació tipus virial:

$$\Delta E = \Delta E_{id} + f(I) + \sum \sum m_i \cdot m_j (I) + \sum \sum \sum m_i \cdot m_j \cdot m_k \cdot \mu + \sum \sum \sum \sum m_i \cdot m_j \cdot m_k \cdot m_l \cdot \mu$$

On

$\Delta E$  = u na energia termodinàmica trobada (per exemple una entalpia de dissolució)

$\Delta E_{id}$  = energia termodinàmica ideal

$F(I)$  = correcció deguda a la dissolució d'ions (per exemple, de la teoria de Debye-Huckel;  $I$  = força iònica)

$\sum \sum m_i \cdot m_j (I)$  = correcció deguda a les interaccions entre els ions de la sal (ions  $i$  i  $j$ ). El símbol  $m$  és un valor de concentració (o activitat)

$\sum \sum \sum m_i \cdot m_j \cdot m_k \cdot \mu$  i  $\sum \sum \sum \sum m_i \cdot m_j \cdot m_k \cdot m_l \cdot \mu$  = correcció deguda a l'influència d'altres ions (per exemple quan es mesclen dues sals).  $\mu$  = magnitud termodinàmica parcial.

Pe dissolucions diluïdes d'electròlits purs els termes en sumatoris son negligibles i no es tenen en conte;  $\Delta E = \Delta E_{id} + f(I)$ . Quan la concentració d'electròlits és mitja o elevada  $\sum \sum m_i \cdot m_j (I)$  comença a tenir influència, ja que la força iònica és elevada.

Fins les aportacions de Pitzer, els següents termes no es tenien en conte. Tal com transcriu Pitzer al seu article, no es coneixia com determinar-ho. A mes, no havien prou resultats experimentals que donessin peu a investigar-ho.

El mèrit de Pitzer és presentar una teoria matemàtica per determinar els últims termes quan tenim una mescla de sals prou concentrada. No s'explicarà aquí ja que és molt complexa i implica definir molts paràmetres, però bàsicament indica

L'equació final és la que s'indica a continuació i cada paràmetre es pot obtenir de valors tabulats, tals com calors de dilució, coeficients de virial "universals", valors de concentració, dades de forces iòniques, càrrega dels ions presents, etc...

$$\Delta_m H = (RT^2 I^2 / 2) \{ [B_{MX}^L + B_{NY}^L + I(C_{MX}^L + C_{NY}^L)] - [B_{MY}^L + B_{NX}^L + I(C_{MY}^L + C_{NX}^L)] - [\theta_{MN}^L + \theta_{XY}^L + (I/4)(\psi_{MNX}^L + \psi_{MNY}^L + \psi_{MXY}^L + \psi_{NXY}^L)] \}$$

**Figura. 45** Equació de Pitzer.

Com a dada més entenedora, la taula següent demostra la bondat de la proposta:

**Table III. Comparison of Calculated and Experimental Heat of Mixing of Unsymmetrical Electrolyte Mixtures at 298.15 K**

System	$I$	$\Delta_m H (\text{cal} \cdot \text{kg}^{-1})$		Ref.
		Calculated <sup>a</sup>	Experimental	
LiCl-NaBr	1.0	26.9	27.7	30
LiBr-NaCl	1.0	15.5	15.6	30
LiCl-KBr	1.0	1.6	0.4	30
LiBr-KCl	1.0	-32.0	-31.8	30
NaCl-KBr	1.0	2.1	1.2	13
	0.5	1.2	0.5	
	0.2	0.35	0.19	
	1.0	0.11	0.05	
NaBr-KCl	1.0	-20.0	-18.7	13
	0.5	-5.5	-5.1	
	0.2	-0.99	-0.92	
	0.1	-0.26	-0.24	
NaCl-KNO <sub>3</sub>	1.0	79.4	79.2	13
	0.5	26.2	24.6	
	0.2	5.5	5.0	
	0.1	1.6	1.4	
NaNO <sub>3</sub> -KCl	1.0	-96.0	-100.2	13
	0.5	-29.9	-29.7	
	0.2	-5.9	-5.9	
	0.1	-1.7	-1.7	

<sup>a</sup> In certain cases, the  $\psi^L$  values were not available and were assumed to be equal to the values for similar ions, e.g., the value for Li, K, Br was taken to be the same as for Li, K, Cl.

**Figura. 46** Comparació teòrica e experimental del calor de dissolució.

Aquesta teoria també explica perquè si tenim una sal amb un ió comú (per exemple NaNO<sub>3</sub> + KNO<sub>3</sub>) no tinguem tanta força termodinàmica com quan tenim una mescla de quatre ions diferents.

També ens explica perquè si un dels components no és un electròlit, no tingui tanta capacitat refrigerant com quan en tenim dos.

## ÚS DE SALS HIDRATADES [16]

No deixa de ser curiós que el procés de dissolució de sals sigui un procés endotèrmic. Això es pot explicar perquè el procés té lloc amb un augment d'entropia, que compensa la pèrdua d'entalpia, d'acord amb l'equació de l'energia de Gibbs:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

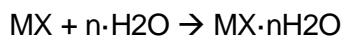
Per a que el procés tingui lloc,  $\Delta G$  ha de ser negatiu, si l'entropia augmenta (per exemple per la dissolució), pot compensar un hipotètic augment d'entalpia ( $\Delta H$  positiu)

L'entalpia de dissolució s'explica a partir de les energies reticulars i les entalpies de solvatació

$$\Delta H_{\text{dis}} = \Delta H_{\text{ret}} + \Delta H_{\text{solv}}$$

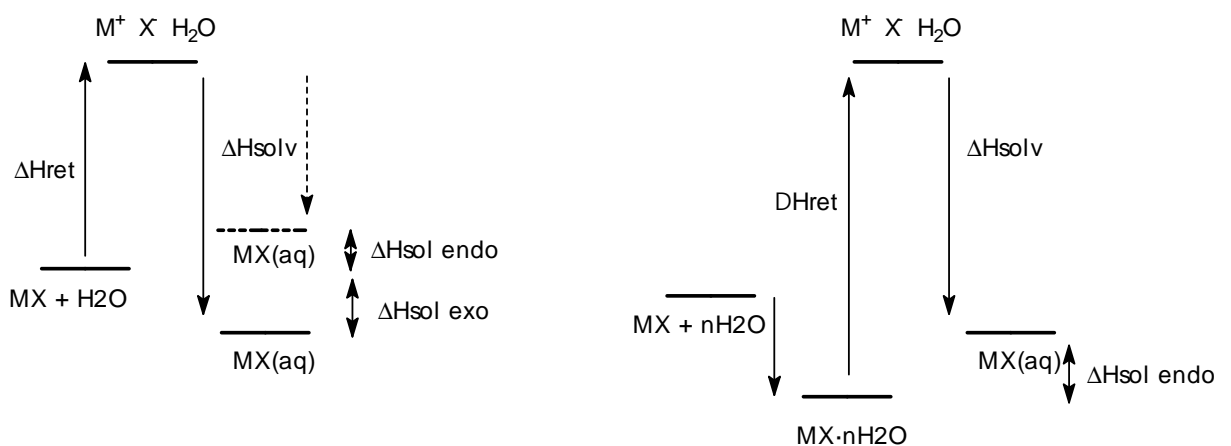
L'energia reticular  $\Delta H_{\text{ret}}$  té sempre un valor positiu, ja que es el procés de separar els ions que estan en el sòlid. L'energia de solvatació  $\Delta H_{\text{solv}}$  és negativa (endotèrmica), si el seu valor absolut és suficient per superar l'energia reticular el procés de dissolució tindrà lloc. També és donarà si, encara que no compensi l'energia reticular, la diferència és molt petita però positiva. Aleshores tindrem una reacció endotèrmica com les que hem avaluat.

Un cas particular es quan tenim sals hidratades. La termodinàmica de la dissolució implica un nou procés: la hidratació



Que és exotèrmic

Aquest fet col·loca en una posició més negativa la sal que volem dissoldre i per tant, el procés final es torna endotèrmic.



**Figura. 47** Explicació de l'entalpia de dissolució gràficament.

## Disseny de l'embolcall

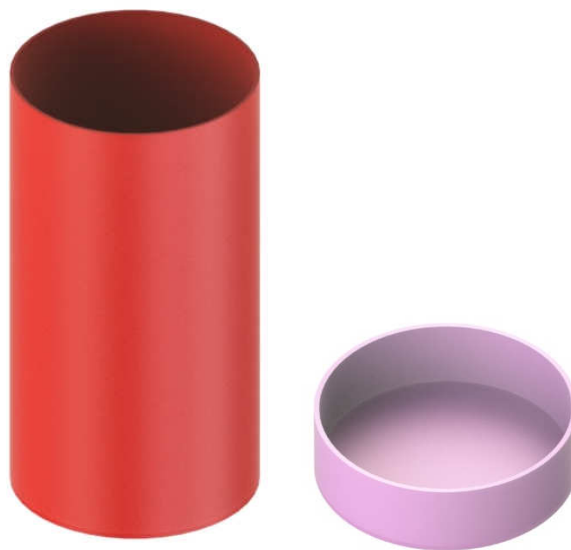
### 5.1. Prototips d'assaig

Un cop es troba la reacció més idònia per tal de refredar la llauna tal i com es desitja es passa a realitzar un primer prototip per tal d'assajar aquesta reacció amb una llauna de tal forma de poder comprovar quina és la transferència de calor real que hi ha.

En primer lloc és realitzat mitjançant l'eina de disseny *SolidWorks* un got amb les mesures adequades per tal de contenir una llauna de 250ml, aquest got amb la llauna a dintre deixa un volum encara suficient per dipositar-hi 100ml d'aigua i 50g de reactiu. Aquest got ha de disposar també d'una tapa que faci hermètic el recipient per tal de poder agitar la reacció amb la llauna dintre i la dissolució en contacte per la part exterior.

Per tal de construir aquest disseny s'ha utilitzat l'eina d'impressió amb 3D la qual per part l'escola ETSEIB es disposa d'una aula que s'ha muntat amb col·laboració amb RepRap on hi ha tot d'impressores 3D de diferents qualitats i que l'alumnat pot utilitzar per un preu ajustat. Amb aquesta tècnica de fabricació hi havia diferents materials possibles, en aquest cas s'ha utilitzat PLA per el seu baix cost en primer lloc i després perquè no es requeria cap propietat mecànica ni química en especial.

Seguidament es mostra quin fora el disseny amb SolidWorks i quin ha estat el resultat final, la precisió d'impressió es de  $\pm 1mm$ , tot i això aquesta precisió és suficient per la tasca que es vol realitzar.



**Figura. 48** Primer prototip d'embolcall complet.



Per tal de veure quina seria la disposició dels elements amb tot el conjunt assembletat i la llauna dintre, es va crear una reproducció exacta d'una llauna de 250ml per tal d'utilitzar-la de referència, seguidament es mostra la llauna creada i també l'assembletatge de tot el conjunt. Es mostra però una secció de l'assembletatge per tal que es puguin apreciar tots els elements.



**Figura. 49** Assembletatge primer prototip d'embolcall amb la llauna de 250ml.

S'aprecia com hi ha un espai entre la part superior de la llauna i la tapa aquesta separació s'ha omplert amb escuma, de tal forma que s'ajusti correctament per tal d'evitar que es mogui la llauna interiorment i també que s'asseguri el màxim de estanqueïtat.

El volum lliure que rodeja la llauna ha estat calculat per tal que es pugui dipositar una quantitat de material de fins a 50g amb uns 150 ml d'aigua, i a més deixant encara un marge d'espai per tal de que es pugui agitar la reacció. L'agitació es molt important ja que produeix que la reacció tingui una cinètica més alta o menys i per tant es pugui arribar a una temperatura inferior.

Seguidament es mostra també la llauna dissenyada la qual es pot veure en l'interior de l'assembletatge anterior però no de forma completa.



**Figura. 50** Llauna de 250ml modelitzada amb 3D.

Vist els dissenys amb SolidWorks es mostra quin ha estat el resultat final després de ser fabricat amb una impressora 3D i haver-ho recobert amb l'aïllant que posteriorment s'explicarà quin ha estat el procediment per fer-ho.



**Figura. 51** Resultat fabricació primer prototip de l'embolcall amb l'aïllant.

S'aprecia com s'ha realitzat un recobriment amb polietilè expandit per tal de tenir un major aïllament de l'ambient. Aquest aïllament fabricat expressament per l'embolcall dissenyat ha

estat possible gràcies a el comerç que existeix en la ciutat de Barcelona anomenat Servei Estació que ofereix la possibilitat de tallar aquest material amb la forma que es vulgui, això no resulta senzill si no es té l'eina adequada.

L'eina utilitzada per fer-ho es la que s'anomena tall per fil calen, la qual amb un fil metàl·lic escalfat a una temperatura concreta permet tallar el poliestirè expandit de forma fàcil.



**Figura. 52** Resultat fabricació tapa primer prototip.

L'ajust de la tapa s'ha aconseguit que pel propi disseny de l'embolcall i tenint en compte la precisió de la fabricació mitjançant l'eina d'impressió 3D sigui bastant bo, tot i que per tal d'acabar de no tenir cap tipus de fugues s'ha fabricat manualment una junta d'escuma, tal i com s'aprecia en la figura 52.

Després de realitzar diferents assajos amb aquest embolcall es va apreciar que hi havia una alta pèrdua de calor que no s'explicava amb un principi ja que amb l'aïllant de poliestirè expandit que s'havia realitzat havia d'haver una transferència de calor molt inferior de l'ambient cap a dintre de l'embolcall.

Posteriorment es va descobrir que hi havia dos problemes el primer que el material aïllant utilitzat no era el adequat ja que estava més indicat per protegir un objecte de possibles cops, ja que té molt bones propietats mecànics amb aquest sentit. Això es degut a que les bombolles de material que formen l'aïllant són molt grans i s'ha demostrat que com més petites són més bon aïllant tèrmic és, i en canvi com més grans millors propietats mecànics en front a un impacte.

En segon lloc el factor que també estava sent negatiu en la funció desitjada de l'embolcall ha estat que el propi PLA ha absorbit també molta calor degut a una major massa que el aïllament que l'envolta.

Vista aquesta dificultat es va procedir a buscar un aïllament molt millor en quan a densitat de bombolles de poliestirè expandit que constitueixin el aïllant de tal forma de evitar al màxim la transferència de calor amb l'ambient, i a més a més també es va decidir prescindir del PLA com a contenidor de la llauna.

Es va pretendre doncs que el propi aïllament constituís el embolcall, almenys en un primer moment per tal de realitzar les corresponents experimentacions, de tal forma que es pugues avaluar de forma correcta la capacitat d'absorbir calor de la reacció.

Posteriorment un cop s'hagi avaluat de forma fidedigna quina ha estat l'abstracció de calor produïda per la reacció es procedirà a dissenyar l'embolcall final que recollirà tota la informació que s'ha obtingut dels diferents experiments i proves realitzats.

El següent disseny que es va realitzar va estar doncs un contenidor completament de poliestirè expandit, però la dificultat era que s'havia de poder realitzar un forat sec que en un material com aquest es molt complicat ja que per aconseguir-ho normalment el que es sol fer es una fabricació per motlle. En aquest cas es partia d'un cilindre de 90mm de diàmetre i 200mm d'alt massís de poliestirè expandit de bona qualitat i es pretenia realitzar un forat sec de 70mm de diàmetre fins una profunditat de 190mm.

Per tal de realitzar-ho es va contactar amb el departament de fabricació de la ETSEIB per tal de veure quines eren les possibilitats a l'hora de realitzar aquesta fabricació, després d'avaluar les possibilitats que hi havia es va decidir en provar de realitzar-ho mitjançant el torn i esperar que fora suficientment rígid.

Sorprenentment per els tècnics del taller va ser possible fer-ho sense trencar el cilindre, el resulta final es mostra a continuació.



**Figura. 53** Segon prototip fabricat totalment de EPS.

Un cop fabricat el nou embolcall ha estat assajat amb una llauna de 250ml, dipositant diferents quantitats de reactius químics fins a una quantitat total de 60g, la qual s'ha pogut comprovar que és la quantitat òptima de producte, per 100ml d'aigua destil·lada.

Per tal de veure quina és la disminució de la temperatura a dintre de la llauna, el que s'ha fet ha estat emplenar-la d'aigua i tapar-la posteriorment amb un poc de suro, d'aquesta forma un cop es realitza la reacció amb l'embolcall tapat, posteriorment es pot treure la llauna i mesura la temperatura final a dintre.

La taula resum mostra quines han estat les quantitats utilitzades de cada element i quina ha estat la temperatura aconseguida dintre la llauna.

### ***Llauna de 250ml***

$KNO_3$	30g
$Na_2CO_3 \cdot 10 H_2O$	30g
$NaHCO_3$	6g
$H_2O$	120ml
$T_{inicial\ llauna}$	21,4°C
$T_{final\ llauna}$	10,8°C
PH	7,8

**Taula. 8** Resum components, temperatures i PH.

S'aprecia doncs que el descens de temperatura aconseguït dintre la llauna és de 10,6 °C , i la temperatura final es de 10,8 °C és una temperatura que quasi bé entra dintre el rang de temperatura que s'aconsella prendre la beguda (7-9°C).

Cal destacar que aquest descens de temperatura augmenta en quan la temperatura inicial augmenta ja que la solubilitat també ho fa, per tant es podria dir que aquest és el cas més crític. Ja que es suposa que es requereix el refredament del refresc quan s'està amb temperatures càlides i aquestes es suposen que parteixen dels 25°C.

## 5.2. Disseny Embolcall

Un cop s'han realitzat les diferents experimentacions per comprovar quines són les diferents possibilitats que poden sorgir de les comprovacions realitzades i amb tota la informació recollida es passa a dissenyar l'embolcall final.

Aquest embolcall parteix de les quantitats de reactius i de més utilitzades en l'últim assaig, així doncs els diferents volums necessaris en l'embolcall seran calculats a partir d'aquests.

En primer lloc és mostra una taula amb els diferents càlculs dels volums de cada element per la massa utilitzada, més el volum de la llauna, i també el volum d'aire que es deixarà per tal que pugui ser agitat el producte. El volum d'aire és molt important ja que si no s'hi deixes un poc la mescla del producte no es podria realitzar de forma adequada, el aire que hi ha ocupa un volum que pot ser desplaçat per la mescla quan s'agita i ajudant a aquesta a mesclar-se aportant-li més energia a la dissolució.

Posteriorment també es considerarà un volum de poliestirè expandit ja que es pretén que aquest estigui amb contacte amb la reacció per tal d'evitar el problema que es va tenir amb el primer embolcall, on el plàstic absorbia el fred i el aïllant per la part exterior no suposava cap benefici. En aquest cas es realitzarà l'aïllament per la part interior per tal d'evitar aquest problema i per tant també es considerarà el volum d'aquest per el càlcul del diàmetre interior de l'embolcall.

### *Embolcall llauna 250ml*

$KNO_3$	30g	$14,22cm^3$
$Na_2CO_3 \cdot 10 H_2O$	30g	$65,19cm^3$
$NaHCO_3$	6g	$8,76cm^3$
$H_2O$	120ml	$120cm^3$
Llauna de refresc 250ml		$235,61cm^3$
Total		$443,78cm^3$

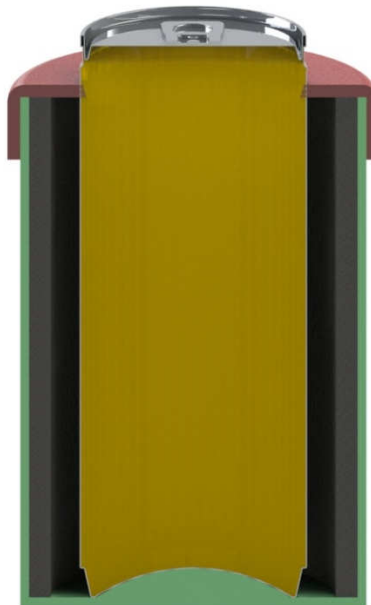
**Taula. 9** Càlcul volum total necessari interiorment.

Aquest el volum mínim que és requereix per tal de dipositar tots els elements considerats, a més a més s'ha de suposar també una quantitat d'aïllant i aire que s'establiran mitjançant l'eina disseny de SolidWorks. Es realitzarà d'aquesta forma degut a que per tal de poder apreciar correctament les proporcions s'ha de visualitzar amb 3D el disseny i posteriorment també s'haurà de valorar mitjançant un càlcul teòric si la quantitat d'aïllant és l'adequada.

El volum d'aire que s'ha de suposar normalment és d'una quarta part del total de mescla que hi ha per agitar, ja que d'aquesta forma es pot generar un procés de mesclat suficient.

Així doncs ja es parteix d'una base per tal de realitzar el disseny, per tant es poden realitzar condicions mínimes de volum i de més a l'hora d'establir les dimensions interiors.

Seguidament es mostra quin ha estat el disseny realitzat, simbolitzant amb diferents color les diferents part de l'embolcall;



**Figura. 54** Disseny definitiu assemblet amb la llauna aïllant i la corresponent tapa.

S'ha disposat una tapa que s'encarrega de segellar l'interior de l'embolcall amb la llauna inclosa de la part exterior per tal de poder agitar, aquesta tapa de subjecció que és de color vermell en la imatge, es realitzarà amb goma per tal de que s'ajusti de forma adequada. La possibilitat de fer-ho amb goma esdevé de que existeix un material anomenat FELIFLEX que s'utilitza amb la tècnica d'impressió 3D i per tant es podrà fabricar per tal de provar el disseny.

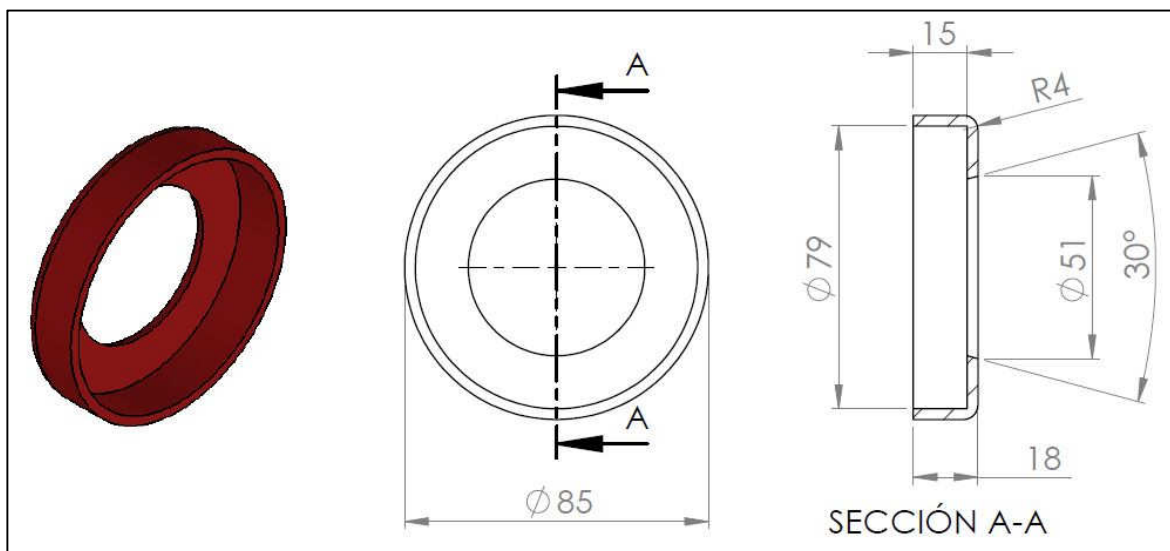
Interiorment s'aprecia una capa de color negre que pertany a l'aïllant EPS, el qual es disposa per dintre pel problema que es va trobar en les proves prèvies realitzades en les quals com ja s'ha comentat anteriorment el plàstic absorbeix calor, i per tal d'evitar-ho s'ha de posar amb contacte la reacció amb l'aïllant directament.

Per una altra part l'estructura general de l'embolcall que es pot apreciar amb color verd, cal destacar que té un orifici interior realitzat expressament per tal que la llauna es situï just en el centre de l'embolcall. Aquest fet es molt important ja que quan s'agita el producte es important que hi hagi la mateixa massa de producte al llarg de tota la superfície de la llauna, per tal, de aconseguir una absorció de calor homogènia.

Aquest embolcall s'ha realitzat amb un tipus de plàstic anomenat ABS, que és un dels que hi ha disponibles per la fabricació amb impressora 3D i que presenta unes millors propietats mecàniques, de degradació en front agents externs, etc.

Per suposat el espai que queda entre la llauna i l'embolcall és el anteriorment calculat per tal que un cop dipositants els reactius més el dissolvent encara hi hagi espai per tal de poder agitar la dissolució i que els productes es puguin mesclar correctament.

A continuació es mostren els plànols de les diferents parts de l'embolcall on s'aprecia de forma més acurada quina és la seva forma i dimensions.



**Figura. 55** Plànol tapa disseny final.

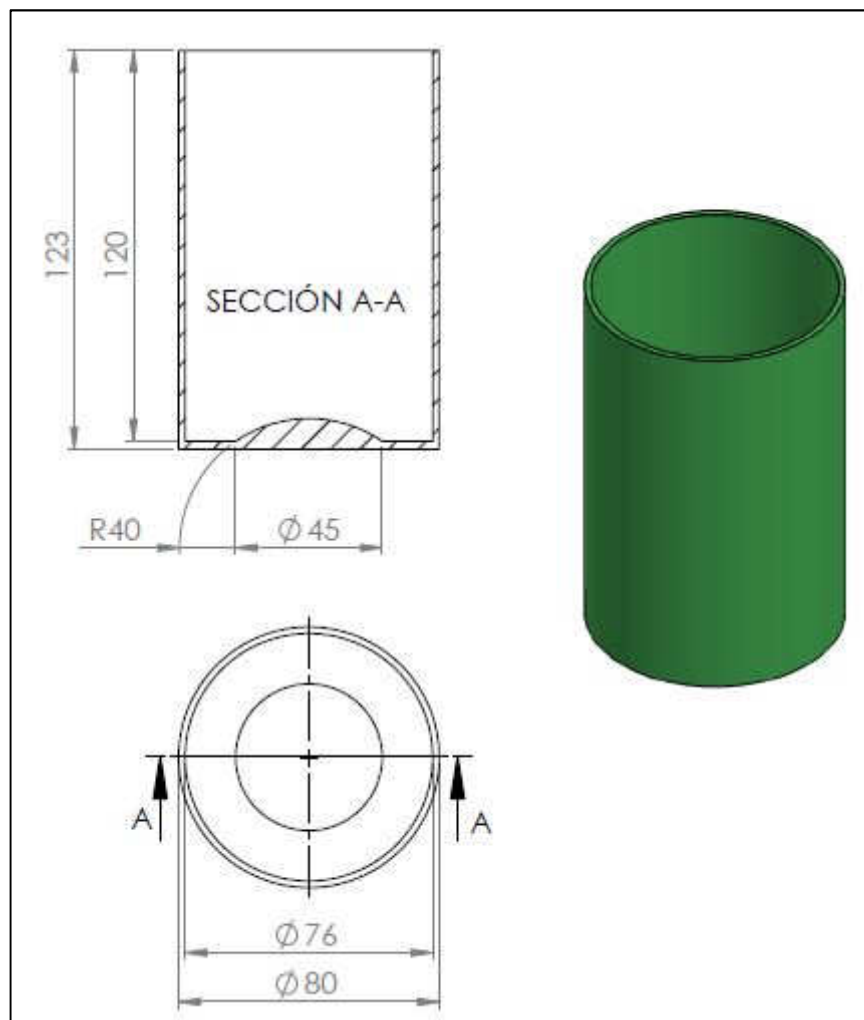
**Totes les dimensions estan amb mil·límetres.**



Es pot apreciar que els espessor mínim en totes les parets és de 2mm, això es degut a la precisió que ofereix la impressora 3D, la qual és de 1mm. També cal dir però que en totes les cotes que s'han realitzat en el plànol es suposa una tolerància corresponent a la fabricació de  $\pm 1mm$ .

S'observa com en la tapa l'orifici per on hi passa la llauna té un pendent, aquest fet s'ha realitzat per tal d'aconseguir un major ajust, ja que es pretén que sigui completament estanc. L'orientació de l'angle d'inclinació d'aquest ajust no és casual, s'ha realitzat d'aquesta forma per tal de quan s'agiti l'embolcall i la dissolució empenyi, ho faci contra un pla que desaigua cap enfora.

També el diàmetre de l'obertura en el punt mínim és de 51mm quan el de la llauna és de 52,5mm s'ha realitzat d'aquesta forma per tal que suposant el màxim error en la fabricació



**Figura. 56** Plànol contenidor disseny final.

**Totes les dimensions estan amb mil·límetres.**

Pel que respecta al recipient s'ha realitzat bàsicament el que vindria a ser un got amb unes dimensions concretes per tal de aconseguir els volum lliure desitjat un cop assembleats tots els elements inclosa la llauna amb qüestió.

Aquest recipient s'aprecia com té una cúpula en el fons, aquesta serveix per ubicar correctament la llauna aprofitant que aquesta té la mateixa forma al final, d'aquesta forma amb una connexió mascle femella s'aconsegueix el correcte centratge de la llauna. És important ja que per el correcte refredament de la llauna es requereix d'un volum de dissolució homogeni e uniforme al voltant de tota la llauna.

S'han provat diferents formes de realitzar aquest centratge però degut al problema de la precisió no es podia realitzar un centratge de forma que la llauna quedarà dintre, i per tant s'ha optat per realitzar-ho d'aquesta forma ja que en cas de obtenir el màxim error solament es tindrà que la llauna s'eleva un poc.

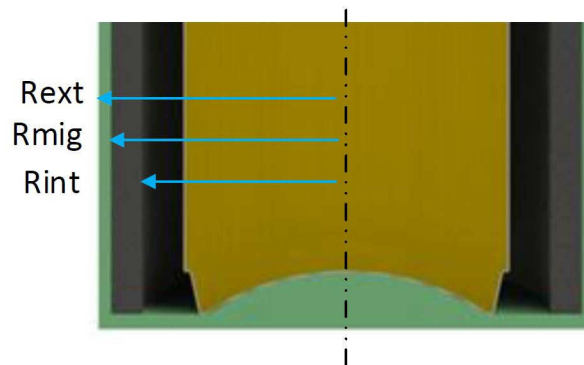
També s'ha realitzat èmfasi amb que amb aquest tipus de centratge s'assegura que el solut sempre es desplaçarà cap els bordes de tal forma que no quedarà atrapat sota la llauna.

Pel que fa a l'aïllant no s'ha realitzat plànol però suposa 5mm d'espessor amb un diàmetre interior de 66mm i 120mm d'altura, la fabricació d'aquest es realitzarà mitjançant el tall per fil calent ja utilitzat anteriorment, aquest servei l'ofereix la tenda Servei Estació.

### 5.2.1. Càlcul transmissió de calor embolcall

En aquest apartat es realitzarà un càlcul teòric de quina serà la transmissió de calor que es produirà en l'embolcall i posteriorment quin serà el temps que trigarà en augmentar 5°C, per tal de tenir una referència del temps en el que la beguda serà consumible a una temperatura adequada.

En primer lloc es mostra una imatge il·lustrant els diferents diàmetres a tenir en compte per tal de realitzar el càlcul.



**Figura. 57** Radis diferents seccions de l'embolcall.

Seguidament es mostra una taula resum del radi i els respectius coeficients de transmissió de calor:

**Resum dels radis de l'embolcall**

$R_{ext}$	40mm
$R_{mig}$	38mm
$R_{int}$	33mm
$K_{ABS}$	0,1 W/mK
$K_{EPS}$	0,034 W/mK

**Taula. 10** Resum dels radis de l'embolcall.

Un cop es tenen els diferents radis ja es pot plantejar la fórmula per el càlcul de la transmissió de calor.

En primer lloc es planteja la formula de la transmissió de calor entre l'interior de la llauna i l'exterior, suposant una altura útil de 120mm;

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\frac{\ln(R_{MIG}/R_{INT})}{2\pi L \cdot K_{EPS}}}$$

(Eq. 64)

Es pot veure com que s'ha considerat que l'embolcall està a temperatura ambient i per tant en el càlcul solament es considera l'aïllant.

Un cop és té quin és el flux de calor es pot calcular quin temps es triga l'interior de l'embolcall en augmentar la temperatura, es considera que quan la llauna augmenta la seva temperatura més de 5°C ja no està a una temperatura adequada per beures, i per tant ja no es considera dintre del temps de consum. Així doncs es realitzarà un càlcul de quin és el temps per que la llauna perdi 5°C considerant aquests el límit de temperatura al qual es pot beure.

$$t_{5^{\circ}C} = \frac{m_{refresc} \cdot c_p \cdot \Delta T}{\dot{Q}} = \frac{250 \cdot 4,1813 \cdot 5}{\frac{20 - 5}{\frac{\ln(38/33)}{2\pi 0,12 \cdot 0,034}} \cdot 60} = 31,96 \text{ min}$$

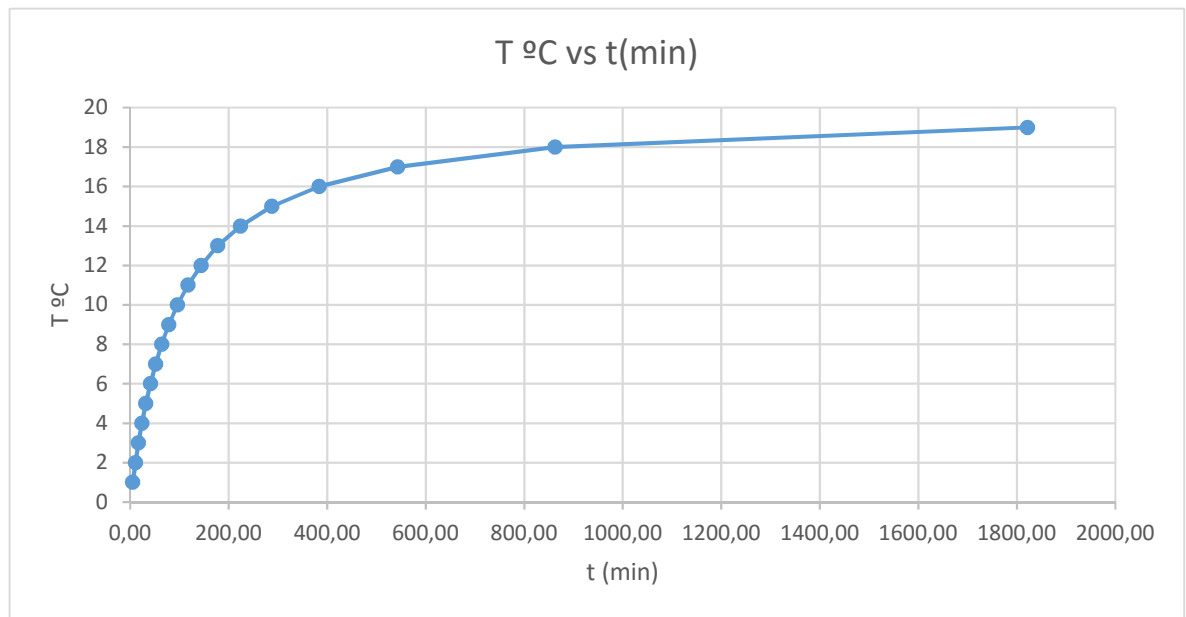
(Eq. 65)

S'ha considerat que la llauna té una massa de 250ml i que el seu  $c_p$  es pot considerar el de l'aigua, lo qual és una aproximació molt bona. S'ha considerat que la temperatura ambient està 20 graus superior a la de l'interior de la llauna, i per tant s'ha de contemplar en el flux de calor.

En aquestes condicions, i sense considerar les pèrdues que es produeixen en les dues tapes del cilindre ja que seria un càlcul més complex que suposaria un càlcul amb tres dimensions, es té que triga 31,96 min en baixar 5°C. Per tant el consumidor té uns 30 min en els quals el refresc es mantindrà a una temperatura adequada pel seu consum.

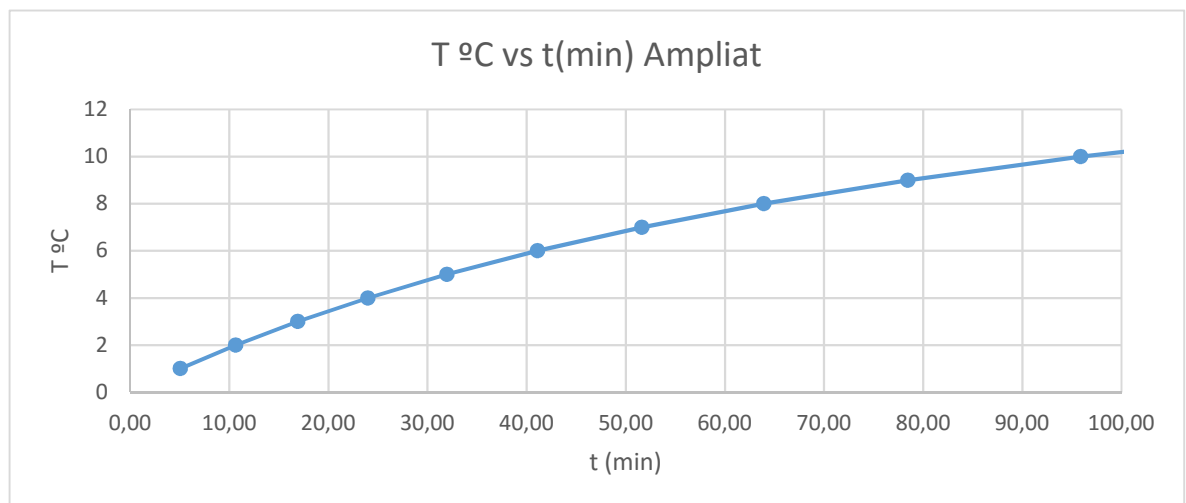
Cal dir però que aquest càlcul solament serveix per fer-se una idea aproximada de quin seria el temps de consum, ja que hi ha molts factors que no han estat considerats com per exemple les inèrcies tèrmiques que existeixen i que suposa que l'escalfament de la llauna no sigui ni molt menys lineal tal i com s'ha considerat. També com s'ha comentat anteriorment a efectes de càlcul per tal no complicar-ho les dues tapes que formen el cilindre no s'han considerat en la transmissió de calor tot i tenir un paper significatiu, però s'espera poder comprovar quant de significatiu és en la prova que es realitzi.

Es pot realitzar una gràfica de quina seria l'evolució de la temperatura al llarg del temps i posteriorment aquesta serà comparada amb la que s'obtindrà experimentalment.



**Figura. 58** Evolució temporal teòrica de la temperatura dintre la llauna.

Aquest és el gràfic aproximat que s'obté fins arribar quasi bé a l'equilibri tèrmic, no obstant com el que resulta interessant són els primers instants es realitzarà una ampliació dels primers 100min, ja que a més a més el gràfic en la seva part final és poc realista.



**Figura. 59** Zoom en els primers instants de l'evolució temporal de la temperatura dintre la llauna.

Com era d'esperar com més s'aproxima a la temperatura ambient més asimptòtica es torna ja que el gradient de calor és menor i per tant augmentar la temperatura de l'interior és més costos.

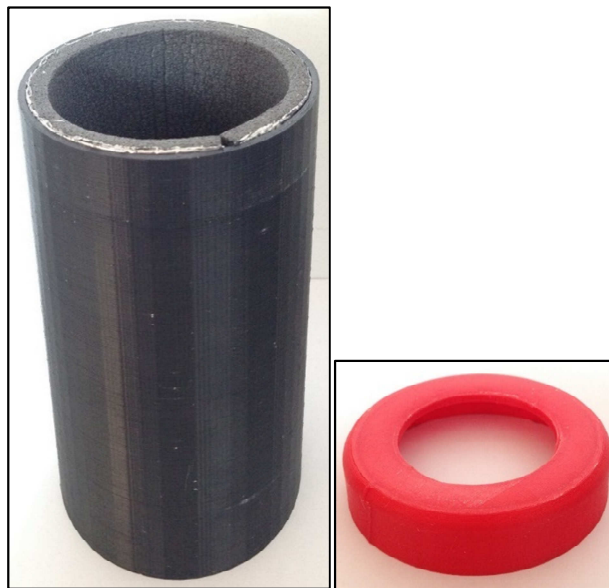
En el gràfic ampliat s'aprecia com amb una hora la temperatura augmenta uns 8°C lo qual està molt bé però a la realitat l'augment de temperatura serà major.

### 5.2.2. Disseny final i Assaig

En aquest apartat es mostra quin ha estat el resultat final de la fabricació del embolcall, il·lustrant les diferents parts i explicant els possibles errors de fabricació que s'han produït, i també quin és el procediment per utilitzar-lo.

Posteriorment s'ha realitzat un assaig amb ell amb el sensor de temperatura per tal de comprovar la seva funcionalitat i que pugui ser comparada amb els resultats obtinguts fins ara amb els prototips. També s'ha comprovat quant temps triga en escalfar-se un altre cop i així doncs comprovar el temps útil que es té per beure la beguda.

En primer lloc es mostren les diferents parts fabricades, per apreciar quin ha estat el resultat final i realitzar alguns comentaris sobre l'acabat i de més.



**Figura. 60** Resultat de la fabricació del disseny final.

Es pot apreciar almenys en l'embolcall com es veuen fines línies verticals que són degudes a la falta de precisió de la impressió, tot i això l'ajust aconseguit entre la tapa de goma vermella i el cos de l'embolcall ha estat satisfactori. També es pot veure interiorment com està l'aïllant recobrint tota la cambra interior, on simplement s'ha calculat l'àrea interior i posteriorment s'ha retallat la superfície d'aïllant necessària.

Seguidament es mostra com ha quedat el conjunt.



**Figura. 61** Assemblatge disseny final fabricat.

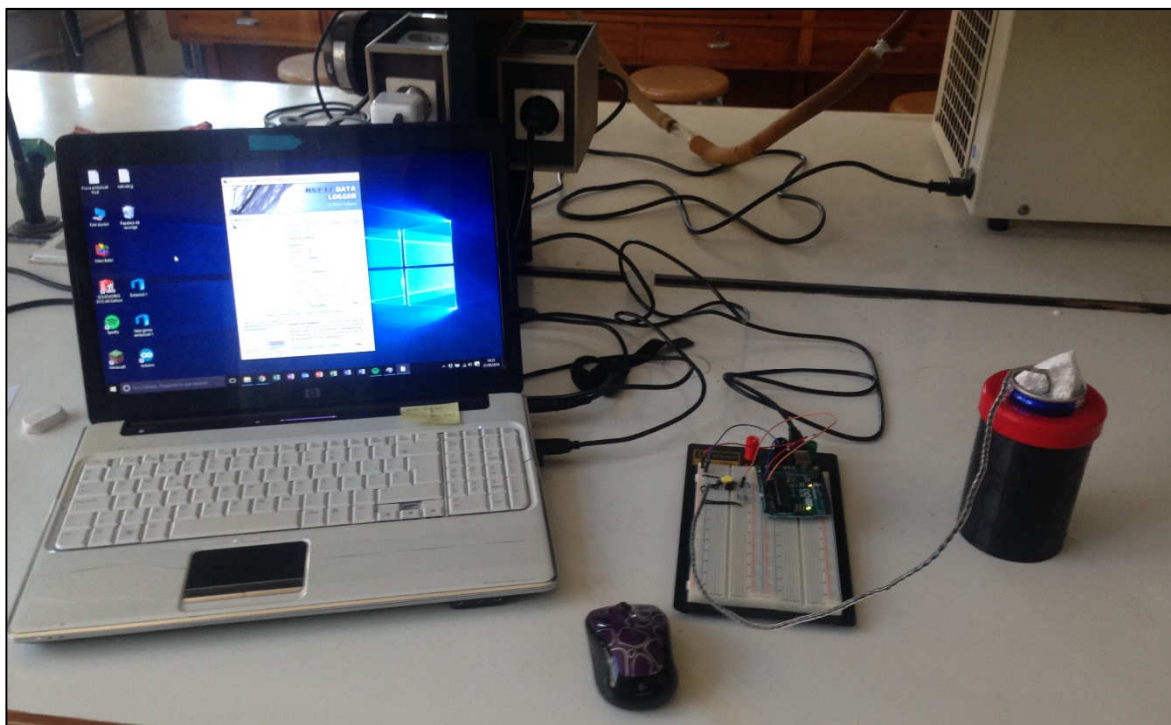
En aquesta imatge de conjunt s'aprecia com queden assembleats tots els elements i també s'aprecia com l'ajust aconseguit entre la llauna i la tapa de goma es realment bo. S'ha pogut assegurar estanqueïtat quan s'agita el conjunt per tal de produir la dissolució.

Pel que respecta a la dissolució el volum que ha quedat lliure no és suficient per poder realitzar una agitació correcta de la mescla, aquest fet es podrà veure seguidament en el gràfic de temperatura que s'ha obtingut en realitzar una mesura de l'evolució de la temperatura en front del temps de l'interior de la llauna.

En aquesta mesura en primer lloc s'ha volgut mesura quin era el descens de la temperatura en els primers instants, fins arribar a la temperatura més baixa i un cop arribat al límit inferior veure quin és el temps que triga en anar augmentant de temperatura fins arribar a la temperatura inicial.

Aquesta segona etapa de veure com augmenta la temperatura fins arribar a la temperatura inicial o ambient, es realitza per comprovar si les hipòtesis realitzades en el càlcul teòric del flux calorífic en l'embolcall eren correctes.

Així doncs es passa a mostrar quina ha estat la forma en que s'han adquirit les dades i posteriorment el gràfic que s'ha obtingut.



**Figura. 62** Procés d'adquisició de dades en el disseny final.

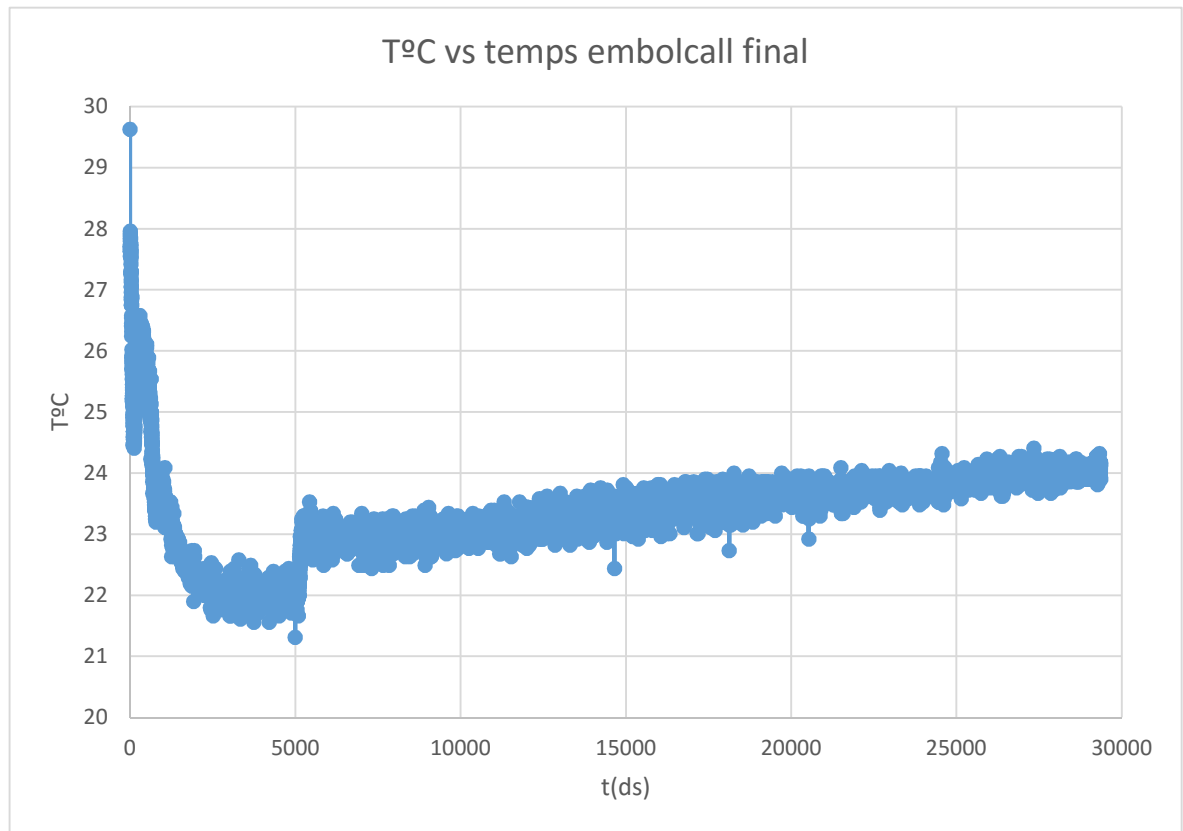
El sensor que entra per l'obertura de la llauna ha de ser segellat per tal que en els primers instants d'agitació no surti el líquid de l'interior de la llauna, això s'ha fet mitjançant un tros de EPS.



**Figura. 63** Zoom per apreciar el tap de EPS fabricat.



Els resultats obtingut en aquesta prova són els següents:



**Figura. 64** Gràfic de l'evolució de la temperatura en la llauna pel cas del embolcall final.

Es pot veure com la temperatura de que es parteix són uns 30°C i s'arriba a uns 21°C aquest petit descens es produeix degut a la falta d'espai per poder agitar correctament la dissolució. Tot i això aquest embolcall realitzar la funció d'aïllant molt bé ja que augmenta 2,5°C amb 30 min, però també s'ha de dir que com més prop s'està de l'equilibri l'augment de temperatura és menys pronunciat tal i com ja es va predir teòricament.

Finalment s'ha pogut observar que la màxima quantitat de solut i dissolvent que s'hi poden dipositar i que disten bastant dels càlculs realitzats és 40g de solut a parts iguals i 75ml d'aigua. Per tant haurà de ser redissenyat per augmentar les dimensions i poder arribar als volums requerits en els requeriments establerts a priori degut a les experimentacions realitzades anteriorment.

## 6. Patent

La dissolució de components trobada i l'embolcall final dissenyat seran patentats conjuntament ja que es considera que tant la part química com l'embolcall són un producte en conjunt molt innovador i que supleixen una necessitat que fins ara no s'havia satisfet amb les condicions que ho fa aquest producte.

Existeixen ja patents relacionades amb l'objecte d'aquest projecte però cap d'elles aporta el valor diferencial de cost principalment ja que aquest producte utilitzat i la fabricació de l'embolcall com es veurà en l'escandall econòmic són molt baixos.

També el respecte que té aquest producte amb conjunt amb el medi ambient ja que el plàstic utilitzat és biodegradable, la reacció és totalment innòcua i per tant no suposa cap tipus d'agressió al medi ambient i això és un punt a favor.

Un altre punt que té a favor i que el diferencia dels seus principals competidors és la velocitat de refredament i la no dependència d'electricitat, que fa que resulti una opció més viable que AISBER 33 i V-TEX.

Cal dir també que la dissolució per les seves característiques pot ser utilitzada amb diversos camps un dels quals és la indústria química que es serveix d'aquets tipus de dissolucions i per tant podria també haver-hi una oportunitat de oferir una alternativa interessant.

## 7. Estudi econòmic

### 7.1. Escandall econòmic

En aquest apartat es realitzarà una breu taula resum de quins són els costos associats a la producció del producte final a diferents volums de producció i mètode de forma que es vegi quins preus podrien establir com a preus de venda final al consumidor, amb un marge zero inicialment o molt baix.

Es presenta una taula resum de l'escandall de costos a diferents volums de l'embolcall, i posteriorment s'explicaran les hipòtesis realitzades.

<i>Element</i>	<i>Quantitat</i>	<i>Cost €</i>
<i>PLA</i>	0,105g	4,2
<i>Fila Flex PLA</i>	0,030g	2,187
<i>Nitrat de Potassi</i>	35g	0,0245
<i>Carbonat de Sodi decahidraat</i>	35g	0,245
<i>Bicarbonat de Sodi</i>	6g	0,0009
<i>Poliuretà Rígid</i>	1unitat	1,25
<b>Total</b>		<b>7,91 €</b>

**Taula. 11** Escandall del cost unitari d'un embolcall

Aquest cost final de l'embolcall amb el producte i l'aïllant ha estat considerant que en el cas dels productes químics es compren amb volums de tonelada, el plàstics per la fabricació amb impressió 3D per rols unitaris, i per últim l'aïllant amb blocs prefabricats.

El preu final que s'ha obtingut és clarament reduïble si es passa a la fabricació per extrusió de plàstic en un motlle, tot i que llavors els volums de venda haurien ser molt alts ja que per amortitzar el preu d'un motlle es requereix d'una gran demanda.

El que succeeix és que per la producció de prototips, com han estat els del present projecte, la tecnologia de fabricació d'impressió 3D és una eina ideal però en canvi quan ja es parla de producció en massa a uns volums molt elevats ja no es adequada.

Ja que si per exemple es realitza la producció amb motlle sense contemplar el cost del propi motlle, els costos que es tenen per kilogram dels diferents plàstics per aquesta tecnologia són molt inferiors.

Aproximadament el cost del mateix plàstic PLA, per exemple és 10 cops superior per la tecnologia d'impressió 3D que per l'extrusió per motlle, per tant en cas de que intentar una comercialització d'aquest producte s'hauria d'optar sense dubte per l'extrusió per motlle.

## Conclusions

En aquest treball s'ha partit d'una idea inicial la qual era molt senzilla i que en un principi l'únic concepte que contemplava era poder tenir un refresc fred sense dependre de cap tipus de electrodomèstic, i que es pugues activar quan es desitjava i on es desitjava.

D'aquesta idea i concepte plantejats, s'ha realitzat una recerca i estudi de les diferents reaccions endotèrmiques existents conegudes actualment i veure quines possibilitats oferien en primer lloc de forma teòrica i posteriorment de forma experimental.

En aquesta experimentació s'ha trobat una reacció anòmala que presenta un efecte molt beneficiós pel present projecte, ja que per un fenomen explicat per Pitzer, resulta que la mescla de dos components particulars produeix una major generació de fred que per separat. De la mescla trobada no hi ha coneixença que s'hagi provat mai per ningú abans i per tant es un fet molt innovador que aporta un valor diferencial a aquest projecte des de un bon començament.

Amb aquesta mescla s'ha passat a superar tot de dificultats tecnològiques per crear un embolcall servint-se de la metodologia de fabricació d'impressió 3D, gràcies a aquesta s'ha pogut dur a terme una prova d'aquesta reacció amb un embolcall que conservi el fred i direccioni l'extracció de calor.

Un cop realitzat l'embolcall final amb tota la informació obtinguda dels previs prototips, i tot i tenir moltes imprecisions degut a les metodologies de treball i fabricació el resultat final és pot considerar bo, ja que s'aconsegueix un salt tèrmic de 10°C amb 30s.

Per tant, en conclusió en aquest treball s'ha realitzat amb totes les seves vessants un treball d'enginyeria complet, ja que s'ha partit d'una idea s'ha realitzat una recerca científica, i s'ha hagut de superar uns reptes tecnològics com la creació d'un sensor o la fabricació amb eines de CAD del models 3D.

Finalment un cop superats tots els reptes de diferent mena s'ha arribat a un disseny final i s'ha pogut provar i comprovar que tota la feina feta ha aportat el seu valor en un objecte final que realitza la funció per a la que va ser pensat, on això al final és la funció de tot enginyer, idea, pensar i solucionar problemes.



## **Agraïments**

En primer lloc agrair-li al tutor d'aquest projecte, Jordi Bou, per acceptar el repte de portar endavant aquesta idea, ja que tot i presentar moltes dificultats no va dubtar en respondre si a un projecte diferent.

M'agradaria també agrair a la meva novia la seva fe amb mi quan se'm proposen reptes difícils, és una sort per mi tenir una persona com tu al meu costat, gràcies per ser-hi sempre.

Finalment desitjaria agrair als responsables de que avui entregui aquest projecte de màster d'enginyeria Industrial i em converteixi amb Enginyer Industrial, els meus pares i la meva germana.

Heu estat el millor suport incondicional que podia haver tingut, sempre m'heu animat a lluitar pel que vull sense importar el que fora i sobretot a mantenir el cap fred en els pitjors moments. No crec que mai us pugui agrair suficientment tot l'esforç que heu fet per mi, però espero que aquest agraïment sigui una petita mostra de quant us valoro.

## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] Fisicoquímica – Ira N. Levine- 5ta Edició Volum 1- Mc GrawHill- ISBN 9706860118
- [2] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3\\_endot%C3%A8rmica](https://ca.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3_endot%C3%A8rmica)
- [3] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Entalpia\\_de\\_dissoluci%C3%B3](https://ca.wikipedia.org/wiki/Entalpia_de_dissoluci%C3%B3)
- [4] Don W Green and Robert H Perry “Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition” 1999, McGraw-Hill, Section 2
- [5] Ivo Mavrovic A., Ray Shirley Jr. and G. R. Coleman in “Urea” , Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 2007, John Wiley and Sons
- [6] Robert C West “CRC Handbook of Chemistry and Physics, 52th Edition”1972, CRC Press
- [7] Christian Thieme in “Sodium Carbonates”, “Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry”, 1995, John Wiley and Sons
- [8] Temperatura i calor – Edicions UPC-1995-ISBN9788498802993
- [9] Patents V-Tex Corporation: (KR1020130121761) *GATE VALVE CAPABLE OF CONTROLLING COMPRESSION AMOUNT OF SEALANT* . (US20130306896) *Gate valve in which amount of squeeze of sealing material is controllable*
- [10] Patent Cool Everywhere Corporation AISBER 33: EP 2 896 908 A1 A self-heating or self-cooling pack,
- [11] Veure per exemple, P Atkins y J de Palma “Química Física” 2008, Ed Panamericana, Cap. 5.
- [12] P Debye and E Huckel 1923 “The theory of electrolytes. I. Lowering of freezing point and related phenomena”. Physikalische Zeitschrift. 24: 185–206.
- [13] M E Fischer and Y Levin 1993 “Criticality in Ionic Fluids: Debye-Hückel Theory, Bjerrum, and Beyond“ Phys. Rev Lett., 71, 3826
- [14] Rard, Joseph A. (1999). "Memorial Tribute Kenneth Sanborn Pitzer 1914-1997".



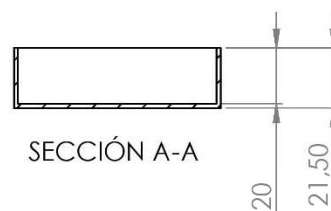
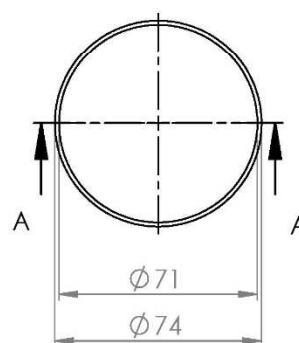
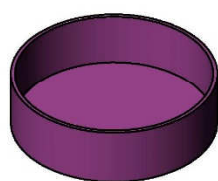
Journal of Solution Chemistry. 28 (4): 247–264

- [15]** Ramesh C. Phutela, Kenneth S. Pitzer 1986 “Thermodynamics of electrolyte mixtures. Enthalpy and the effect of temperature on the activity coefficient” J Solution Chem, 15, 649
- [16]** R.L. Madan “Physical Chemistry” 2015, McGraw-Hill, chap 10.

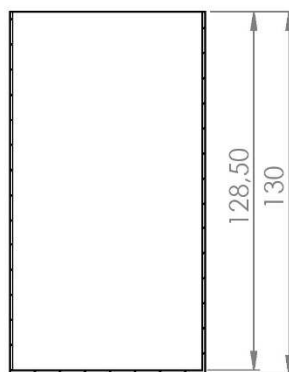
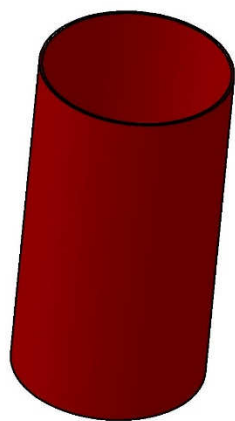
### **Bibliografia complementària**

- [1]** SolidWorks tutorial [https://www.solidworks.com/sw/docs/Instructor\\_WB\\_2011\\_ESP.pdf](https://www.solidworks.com/sw/docs/Instructor_WB_2011_ESP.pdf)
- [2]** Manual Arduino <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>
- [3]** Assignatura d'Ampliació Electrònica impartida en el màster d'enginyeria industrial ETSEIB.

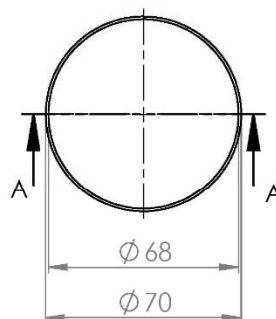
## ANNEX PLÀNOLS



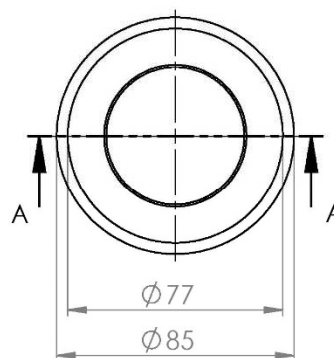
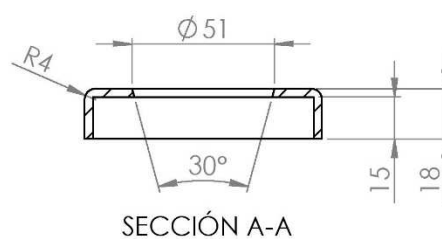
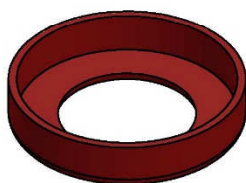
		Nom	Data 05/09/16	Material	Escala
		Fco Javier Beltri Paga		PLA	1:2
		Denominació	Màquina		
Curs	Departament d'Enginyeria Mecànica	Tapa embolcall 1	-		
2015-16 Q4			Nº de plànol		
Professor			1		
Jordi Bou					



SECCIÓN A-A



		Nom	Data 05/09/16	Material	Escala
		Fco Javier Beltri Paga		PLA	1:2
		Denominació		Màquina	
Curs	Departament d'Enginyeria Mecànica	Embolcall 1		-	
Professor				Nº de plànol	
Jordi Bou				2	



		Nom	Data 05/09/16	Material	Escala
		Fco Javier Beltri Paga		Fila flex PLA	1:2
		Denominació	Màquina		
Curs	Departament d'Enginyeria Mecànica	Tapa de goma embolcall 2	-		
2015-16 Q4			Nº de plànol		
Professor			3		
Jordi Bou					

